

## ANÁLISIS DEL POTENCIAL DE AHORRO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE MEDIDAS DE REHABILITACIÓN ENERGÉTICA

Sánchez E.M.N. \*, Soutullo C.S. \*, Ferrer T.J.A. \*, Diaz A.J.A. \*, Giancola E.\*

\* Departamento de Energía, Unidad de Eficiencia energética en la Edificación, CIEMAT, Avda. Complutense, 40, Madrid, 28040, (Madrid) España, [silvia.soutullo@ciemat.es](mailto:silvia.soutullo@ciemat.es)

<https://doi.org/10.34637/cies2020.2.1114>

### RESUMEN

En este artículo se presentan dos nuevas herramientas web que permiten cuantificar el potencial de rehabilitación en edificios residenciales del Principado de Asturias. La mejora energética se ha calculado mediante una metodología de simulación que identifica los casos más representativos, analiza su comportamiento energético través del acoplamiento entre TRNSYS y GenOpt, y realiza un post-procesado para calcular los potenciales finales. Se han identificados dos categorías de viviendas: unifamiliares y bloques de cuatro, siete y diez plantas; dos configuraciones para las condiciones de contorno: aisladas y adosadas; cuatro normativas edificatorias y varios porcentajes de sombra en las ventanas. Los mayores potenciales de rehabilitación se obtienen para las viviendas unifamiliares más antiguas, disminuyendo a medida que aumentan los requisitos normativos. Los bloques de viviendas presentan similares patrones pero con porcentajes inferiores. Finalmente, las configuraciones aisladas alcanzan mayores potenciales frente a las adosadas.

**PALABRAS CLAVE:** Simulación energética, Medidas de rehabilitación, Herramientas web, Ahorro energético

### ABSTRACT

This article presents two new web tools that allow quantifying the refurbishment potential in residential buildings in the Principado de Asturias. The energy savings have been calculated using a simulation methodology that identifies the most representative cases, analyzes their energy performance through the coupling between TRNSYS and GenOpt, and performs post-processing analyses to calculate the final potentials. Two categories of buildings have been identified: single-family and blocks of four, seven and ten floors; two configurations for boundary conditions: isolated and semi-detached or linear; four building regulations and various percentages of shade in windows. The greatest refurbishment potentials are obtained for older single-family dwellings, decreasing as regulatory requirements increase. Similar patterns are reached by blocks but with lower percentages. Finally, isolated configurations achieve higher potentials compared to semi-detached or linear configurations.

**KEYWORDS:** Energy simulation, Refurbishment strategies, Web tools, Energy saving,

## INTRODUCCIÓN

Según la Agencia Internacional de Energía (AIE) los sectores de la edificación y de la construcción juntos consumen alrededor del 36% de la energía final global y son responsables de casi el 40% de las emisiones de CO<sub>2</sub> (IEA, 2020)[1]. En España, en el sector de la edificación el consumo de energía final es el 18,5% del total, según el Plan Nacional de Acción de eficiencia energética 2017-2020 (Ministerio de Energía Turismo y Agenda Digital, 2017). De todo ese consumo, aproximadamente un 60% se destina principalmente a usos en calefacción. En consecuencia, muchas de las políticas actuales del sector de la edificación se centran en reducir la demanda global de energía de los edificios mediante la promoción de la rehabilitación de los edificios existentes y el aumento de su eficiencia energética.

La ruta para lograr alcanzar las metas del Horizonte 2020 (European Commission, s. f.) y conseguir un ahorro de un 20% de consumo de energía primaria, se engloba en los objetivos marcados por la Directiva 2012/27UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre del 2012, relativa a la eficiencia energética (Parlamento Europeo y del Consejo, 2012).

En España actualmente existen alrededor de 10 millones de edificios destinados a vivienda (Instituto Nacional de Estadística -INE-, 2012), de los cuales unos ochocientos mil tienen más de cincuenta años y están construidos antes de la entrada en vigor de la Norma Básica de Edificación, NBE-CT-79 (Gobierno de España, 1979). Estos edificios hoy en día presentan carencias en cuanto a confort y habitabilidad (Varela, 2018), motivo por el cual la implementación de medidas eficientes tiene un gran potencial (López Rodríguez, 2011).

Las actuaciones de rehabilitación tratan de adecuar el edificio a los requisitos que establecen las nuevas normativas, empleando técnicas tanto pasivas como activas, ayudando a mejorar su calidad y su vida útil. (Munarim, 2016). Estudios actuales determinan que existe un menor impacto económico y ambiental al rehabilitar edificios frente a su demolición y nueva construcción (Rodríguez, 2017).

En la literatura científica hay una amplia disponibilidad de ejemplos de proyectos diseñados para ayudar, tanto a los usuarios como a los gobiernos locales, en la toma de decisiones destinadas a mejorar la eficiencia energética, reducir la demanda de energía en el sector de la edificación y desarrollar entornos de simulación para evaluar el rendimiento energético de las zonas urbanas (Li, 2017; Soutullo, 2017).

El proyecto RETOS-COLABORACIÓN RehabilitaGeoSol ‘Eficiencia Energética a través de la Rehabilitación, el Sol y la Geotermia en Asturias’ (RehabilitaGeoSol, 2020), tiene como objetivo el desarrollo de nuevas herramientas que posibiliten la implantación de medidas de ahorro energético en edificios, el uso de energía solar térmica y las tecnologías de geotermia. La creación de estas herramientas se basa en los recursos geomorfológicos, climáticos y constructivos de las diferentes regiones del Principado de Asturias, permitiendo el diseño de instalaciones con estas tres medidas por separado y de manera acoplada.

Este artículo describe la metodología de simulación empleada para calcular el potencial de rehabilitación de edificios residenciales a través de la plataforma web RehabilitaGeoSol. Este estudio combina la necesidad de analizar un gran patrimonio edificado manteniendo un alto nivel de calidad. Para ello, se desarrollan dos herramientas web que cuantifican los potenciales de rehabilitación en función de diferentes variables de entrada.

## OBJETIVO

El objetivo principal del trabajo que se presenta es cuantificar el potencial de rehabilitación de edificios de uso residencial en el Principado de Asturias mediante la plataforma web RehabilitaGeoSol. Esta plataforma proporciona dos herramientas para estimar el potencial de rehabilitación de los edificios residenciales existentes. La herramienta 1 obtiene los potenciales máximos para un edificio ubicado en cualquier localización del Principado de Asturias. La herramienta 2 permite calcular el potencial personalizado, afinando más el comportamiento energético del edificio mediante la introducción de valores más específicos.

Estas dos herramientas web se han desarrollado a través de una metodología de simulación que combina información de entrada representativa que alimenta a un análisis multi-paramétrico, realizado mediante acoplamiento entre un programa de simulación dinámica y un programa de parametrización, y el posterior post-procesado de los resultados. El diseño de estas herramientas pretende servir de ayuda a los administradores locales y a los usuarios finales a la hora de resolver el problema en la toma de decisiones de la rehabilitación energética de edificios.

## METODOLOGIA

El uso de herramientas dinámicas de simulación para resolver los balances de energía emplea métodos numéricos de discretización con periodos de paso cortos. Este método de resolución requiere una exhaustiva definición de los parámetros del sistema, las variables de entrada y las condiciones de contorno, demandando gran capacidad de computación.

En este documento se presenta la metodología de simulación desarrollada para cuantificar el potencial de rehabilitación de edificios de tipo residencial del Principado de Asturias. Estos potenciales son accesibles desde la plataforma web del proyecto Rehabilitageosol. Tal y como se muestra en la Figura 1, esta metodología se divide en tres fases:

(1) Definición de los casos de estudio. En esta fase se identifican los edificios residenciales representativos, las condiciones de contorno y sus características constructivas y operacionales. Para ello se emplea información procedente del Código Técnico de la Edificación, el IDAE, el catastro, la Universidad de Oviedo o el Sistema de Información Ambiental del Principado de Asturias. Como salida de esta fase se definen los casos base de los edificios que serán evaluados.

(2) Entorno de análisis. En esta fase se define el entorno de simulación que permite analizar diferentes configuraciones de edificios bajo diferentes condiciones. Para ello se acopla un programa de simulación dinámica (TRNSYS) y un programa de parametrización (GenOpt), dando lugar a diferentes baterías de simulación que posibilitan la realización de un análisis multi-paramétrico. El entorno de análisis se completa con el post-procesado de los datos obtenidos. Como salida de esta fase se obtienen las demandas térmicas de las configuraciones de edificios propuestas.

(3) Definición de las salidas. En esta fase se crean las bases de datos que alimentan las herramientas de la plataforma web del proyecto Rehabilitageosol. Estas herramientas indican el potencial máximo de rehabilitación así como un potencial de rehabilitación personalizado por el usuario.

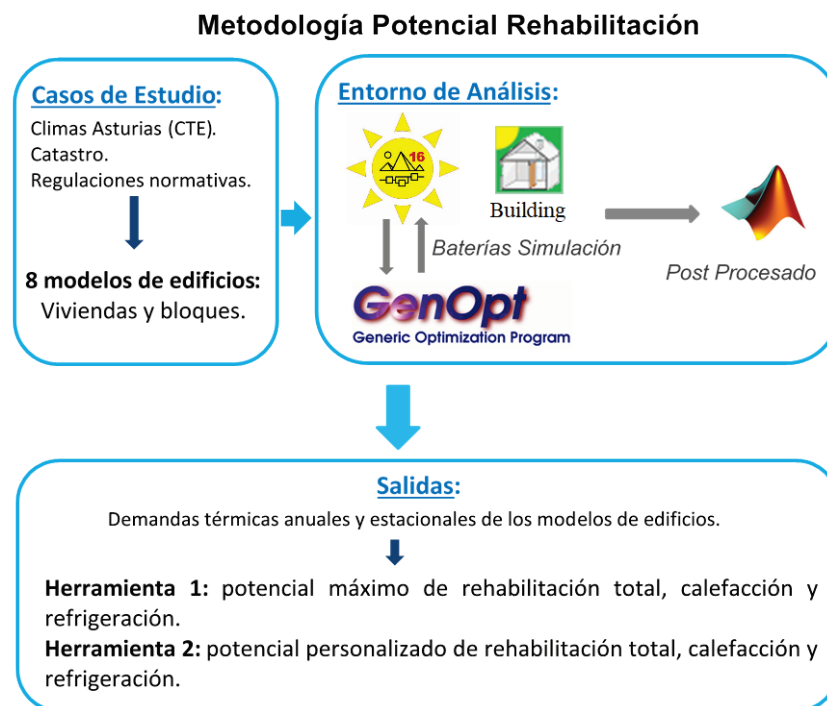


Fig. 1. Metodología de cálculo del potencial de rehabilitación desarrollada en la plataforma Rehabilitageosol

### Casos de estudio

Los casos de estudio se han seleccionado teniendo en cuenta las características climáticas, las tipologías edificatorias y las normativas constructivas y operacionales del principado de Asturias. En esta región se identifican tres zonas climáticas según el Código Técnico de la Edificación Española (Ministerio de Fomento, 2020): zona C1, zona D1 y zona E1. Esta clasificación se obtiene en base a la severidad climática de invierno (identificada por una letra) y a la severidad climática de verano (identificada por un número). La Figura 2 muestra los valores estacionales de temperatura (parte superior izquierda), humedad relativa (parte superior derecha), radiación solar global (parte inferior izquierda) y velocidad del viento (parte inferior derecha), para las tres zonas climáticas estudiadas. La principal diferencia entre las tres zonas radica en los valores de temperatura y radiación. Las mayores desviaciones en la temperatura media del aire se registran en invierno, siendo prácticamente nulas en verano. Las zonas climáticas con mayores dispersiones de temperatura son las zonas C1 y E1. Con respecto a los valores de radiación solar global las mayores desviaciones estacionales se producen en primavera y otoño, siendo mínimas en invierno. La zona E1 presenta las mayores dispersiones frente a las zonas C1 y D1, cuyos valores son más similares. Los valores estacionales de humedad relativa y velocidad del viento de las tres zonas son bastante parecidos.

Se han empleado los ficheros climáticos de estas tres zonas como variables de entrada en los modelos de simulación de los edificios.

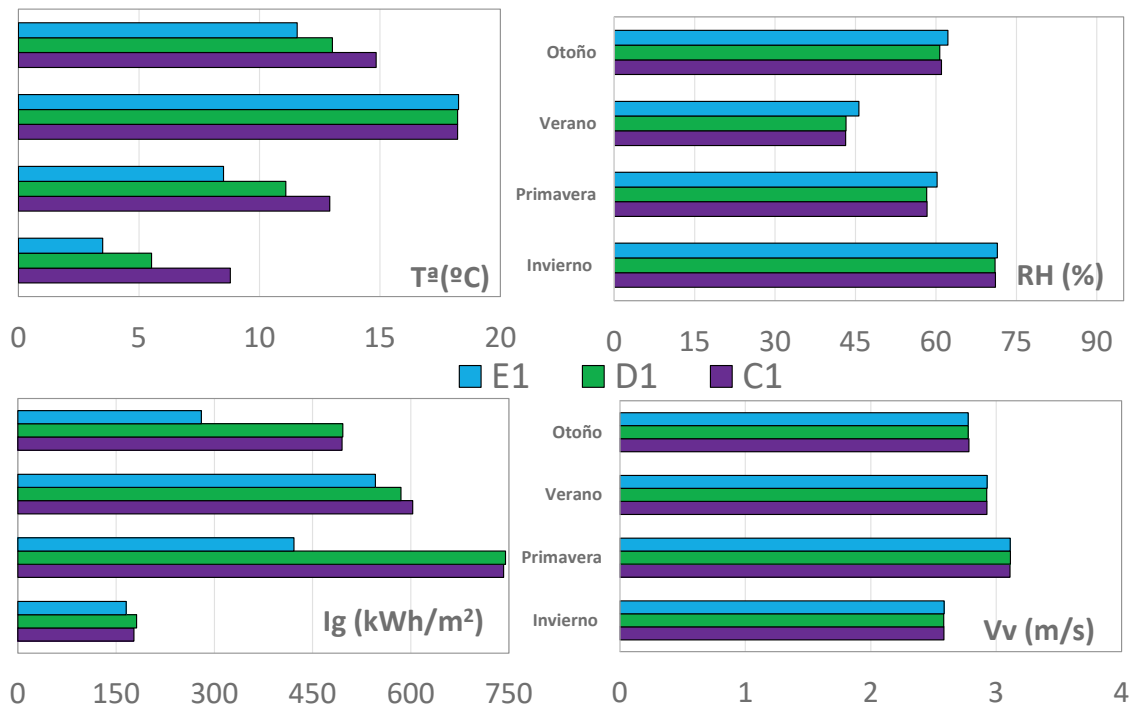


Fig. 2. Valores estacionales de temperatura, humedad relativa, radiación solar global y velocidad del viento obtenidos en las zonas climáticas C1 (morado), D1 (verde) y E1 (azul)

Basados en los datos del catastro, el IDAE y la Universidad de Oviedo, se identifican ocho modelos de viviendas de tipo residencial representativos del Principado de Asturias. Estos modelos se diferencian entre viviendas unifamiliares y bloques de viviendas con cuatro, siete y diez plantas. Se han definido dos configuraciones para considerar las condiciones de contorno: viviendas aisladas, cuyas fachadas están en contacto con el exterior; y viviendas adosadas, que sólo tienen dos fachadas en contacto con el exterior.

Para definir las características constructivas y operacionales de los edificios representativos, se recurre a las siguientes normativas españolas: antes 1979, 1979-2005, 2006-2013 y después 2013 (Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico, 2020) La Tabla 1 proporciona los valores límites de los coeficientes globales de transferencia de calor de los cerramientos, los vidrios y los marcos definidos en los edificios, para todas las normativas y zonas climáticas disponibles. Estos valores se han empleado como parámetros en los modelos de simulación de los edificios.

Tabla 1. Valores límite del coeficiente global de transferencia de calor de los cerramientos del edificio

		$U_{limite} (W/m^2K)$			
Clima	Elemento Constructivo	Antes 1979	1979 – 2005	2006-2012	Después 2013
C1	Tejado	2.17	1.20	0.41	0.23
	Fachada Exterior	2.38	1.60	0.73	0.29
	Suelo	1.00	1.00	0.73	0.29
	Muro Interior	2.25	1.62	0.73	0.73
	Vidrio (g)	5.73 (0.82)	3.25 (0.76)	1.54 (0.65)	0.97 (0.61)
	Marco	5.7	4.0	2.2	2.2
D1	Tejado	2.17	1.20	0.38	0.22
	Fachada Exterior	2.38	1.60	0.66	0.27
	Suelo	1.00	1.00	0.66	0.27
	Muro Interior	2.25	1.62	0.66	0.27
	Vidrio (g)	5.73 (0.82)	3.25 (0.76)	1.54 (0.65)	0.97 (0.61)
	Marco	5.7	4.0	2.2	2.2
E1	Tejado	2.17	1.20	0.35	0.19
	Fachada Exterior	2.38	1.60	0.57	0.25
	Suelo	1.00	1.00	0.57	0.25
	Muro Interior	2.25	1.62	0.57	0.25
	Vidrio (g)	5.73 (0.82)	3.25 (0.76)	1.54 (0.65)	0.97 (0.61)
	Marco	5.7	4.0	2.2	2.2

Para completar la información de entrada es necesario disponer de las ganancias internas de las viviendas. Estos valores se definen en función de la ocupación, iluminación, equipos y renovaciones de aire, y se pueden obtener de las herramientas para la certificación energética de edificios (Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico, 2020). Se establecen dos periodos de acondicionamiento térmico: verano e invierno, en cada uno de los cuales se fijan unas temperaturas de consigna. Se modelan dos tipos de renovaciones de aire anuales: infiltración y ventilación. Los valores de infiltración se definen de manera constante, dependiendo de la tipología de vivienda y el año de construcción (0.8 ren/h para todas las viviendas anteriores a las normativas de 2006, 0.3 ren/h para unifamiliares con normativas posteriores a 2006 y 0.24 ren/h para bloques con normativas posteriores a 2006). Los valores de ventilación dependen de la ocupación (1.2 ren/h con ocupación y 0.2 ren/h sin ocupación).

### Metodología de simulación

Se ha desarrollado una metodología de simulación que permite cuantificar el potencial de rehabilitación de los edificios residenciales seleccionados como representativos. Para ello se acopla el programa de simulación dinámica TRNSYS con el programa de parametrización GenOpt, dando como resultado las matrices de datos que alimentan las herramientas 1 y 2 de la plataforma web. Inicialmente se modelan con TRNSYS los ocho casos base definidos como representativos. Posteriormente se modifican algunas variables de entrada en función de las salidas que se quieren obtener (herramienta 1 o 2). Para la creación de la herramienta 1 se modifican las zonas climáticas, el año de construcción del edificio, la superficie en planta de los bloques (200, 400 y 800 m<sup>2</sup>) y el tipo de ventana. Para la creación de la herramienta 2 se modifican las zonas climáticas, el año de construcción del edificio, la superficie en planta de los bloques, el tipo de ventana y el porcentaje en sombra estival sobre las ventanas con orientaciones principales (norte, sur, este y oeste). A continuación se realiza un análisis multi-paramétrico empleando TRNSYS como motor de cálculo y GenOpt para automatizar la ejecución de las baterías de simulación. Finalmente se realiza un post-procesado de los resultados obtenidos empleando el software Matlab. Este proceso permite calcular las demandas térmicas de cada edificio estudiado, dando lugar a las dos bases de datos que alimentan las herramientas de rehabilitación 1 y 2.

### Salidas

Las salidas obtenidas tras la ejecución de las baterías de simulación son las demandas térmicas de calefacción, refrigeración y total para cada caso evaluado. Estas demandas van a dar lugar a las dos bases de datos que alimentan las dos herramientas web del potencial de rehabilitación. La primera base de datos alimenta la herramienta 1 y proporciona el potencial máximo de rehabilitación en el Principado de Asturias. La segunda base de datos alimenta la herramienta 2 y proporciona un potencial de rehabilitación personalizado para cada modelo de edificio evaluado. Los potenciales de rehabilitación obtenidos se calculan con respecto al valor mínimo de la demanda térmica anual, que corresponde a los valores normativos del CTE 2013.

Una vez creadas las dos bases de datos, se representan en el visor de la aplicación web de base GIS a través de las pestañas del Potencial de Rehabilitación.

## RESULTADOS

Dada las características climáticas del Principado de Asturias, la demanda térmica mayoritaria a lo largo del año corresponde a la calefacción. Este aporte energético oscila, tanto para viviendas unifamiliares como para bloques, entre un 71-93% para configuraciones aisladas, y entre un 83-95% para configuraciones adosadas. El rango de variabilidad es debido a la climatología y al año de construcción del edificio.

### Herramienta 1

La herramienta 1 muestra una estimación de los potenciales máximos de rehabilitación de la edificación en cualquier localización del Principado de Asturias. Estos valores proceden de la base de datos creada con la metodología de simulación descrita en los apartados anteriores. Los potenciales máximos van a depender de la climatología y del año de construcción del edificio. Se alcanzan mayores porcentajes de potencial en las viviendas unifamiliares frente a los bloques, y en las configuraciones aisladas frente a las adosadas. Las normativas más antiguas (antes de 2006) son las que obtienen mayores potenciales de rehabilitación. Para configuraciones aisladas, el mayor potencial de ahorro se obtiene con el clima C1 mientras que los potenciales más bajos se obtienen con el clima E1. Para configuraciones adosadas y normativas anteriores a 2006, las tres climatologías estudiadas alcanzan potenciales de ahorro similares. Para configuraciones adosadas y normativas posteriores a 2006, el clima C1 obtiene los potenciales más altos y el clima E1 los potenciales más bajos.



La Figura 3 representa el potencial máximo de rehabilitación obtenido en todas las regiones del Principado de Asturias mostrado en la aplicación web del proyecto RehabilitaGeoSol. Se puede observar como los mayores porcentajes se alcanzan en la zona oeste de Asturias, donde se tiene una elevada proporción de viviendas unifamiliares con características constructivas anteriores a 2006.

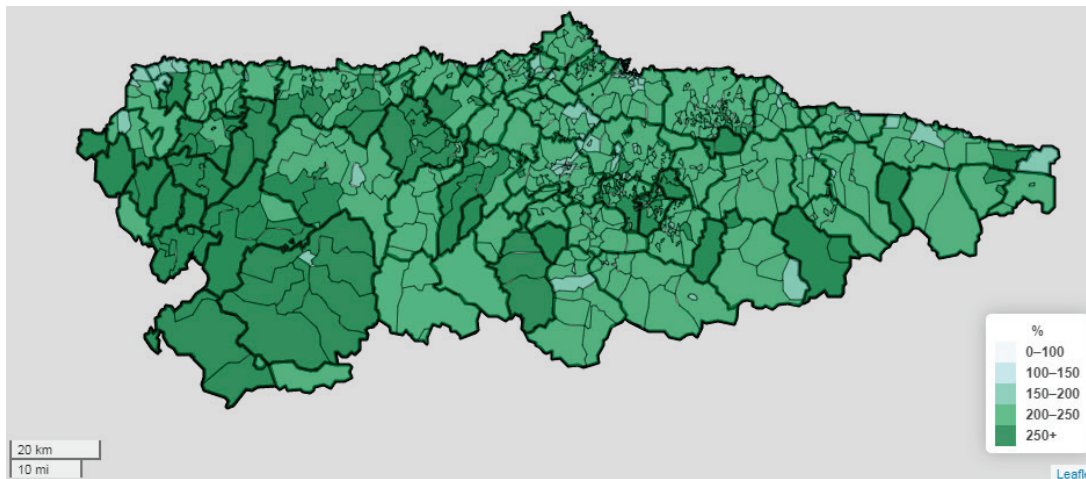


Fig. 3. Potencial de Rehabilitación de edificios en el Principado de Asturias.

### Herramienta 2

El objetivo principal de la herramienta 2 es proporcionar al usuario un simulador que le permita calcular el Potencial de Rehabilitación de forma personalizada. Con esta herramienta el usuario podrá modificar las condiciones de entrada, ajustándolas a sus características particulares. El usuario puede introducir de forma personalizada las siguientes variables de entrada: zona climática local, tipo de edificación, año de construcción, número de plantas, superficie en planta, tipo de ventanas y porcentaje de sombra estival sobre las ventanas norte, sur, este y oeste de manera individualizada. La introducción de los porcentajes de sombras en cada una de las orientaciones permite afinar más el comportamiento energético del edificio evaluado.

A modo de ejemplo, se analizan varios casos obtenidos con la herramienta 2 en las principales ciudades del Principado de Asturias: Gijón y Oviedo. La Tabla 2 indica las principales características de los 48 casos analizados: configuración de la vivienda, condiciones de contorno, normativa edificatoria aplicable, porcentaje de sombra de verano sobre todas las ventanas en conjunto. Estos casos se han seleccionado al representar un elevado porcentaje de viviendas con estas tipologías.

Tabla 2. Casos estudiados con la herramienta 2 en Gijón y en Oviedo.

<i>Ciudades: Gijón (zona CI) y Oviedo (zona DI)</i>					
<i>Configuración</i>	<i>Contorno</i>	<i>Normativas</i>	<i>100% Sombra</i>	<i>50% Sombra</i>	<i>0% Sombra</i>
Unifamiliar	Aislada	<i>Antes 1979</i>	Cs1	Cs2	Cs3
		<i>1979 – 2005</i>	Cs4	Cs5	Cs6
		<i>2006-2012</i>	Cs7	Cs8	Cs9
		<i>Después 2013</i>	Cs10	Cs11	Cs12
Unifamiliar	Adosada	<i>Antes 1979</i>	Cs13	Cs14	Cs15
		<i>1979 – 2005</i>	Cs16	Cs17	Cs18
		<i>2006-2012</i>	Cs19	Cs20	Cs21
		<i>Después 2013</i>	Cs22	Cs23	Cs24
Bloque 4 plantas (400 m <sup>2</sup> )	Aislada	<i>Antes 1979</i>	Cs25	Cs26	Cs27
		<i>1979 – 2005</i>	Cs28	Cs29	Cs30
		<i>2006-2012</i>	Cs31	Cs32	Cs33
		<i>Después 2013</i>	Cs34	Cs35	Cs36
Bloque 4 plantas (400 m <sup>2</sup> )	Adosada	<i>Antes 1979</i>	Cs37	Cs38	Cs39
		<i>1979 – 2005</i>	Cs40	Cs41	Cs42
		<i>2006-2012</i>	Cs43	Cs44	Cs45
		<i>Después 2013</i>	Cs46	Cs47	Cs48

Las Figuras 4 y 5 muestran los valores de potencial de rehabilitación anual obtenido para los 48 casos analizados en Gijón y Oviedo, respectivamente. La parte superior de ambas figuras representa las viviendas unifamiliares, mientras

que la parte inferior representa los bloques de 4 plantas y 400 m<sup>2</sup> de área en superficie. Los potenciales de rehabilitación obtenidos en las dos zonas térmicas, en función de las normativas y de las configuraciones edificatorias, son muy similares.

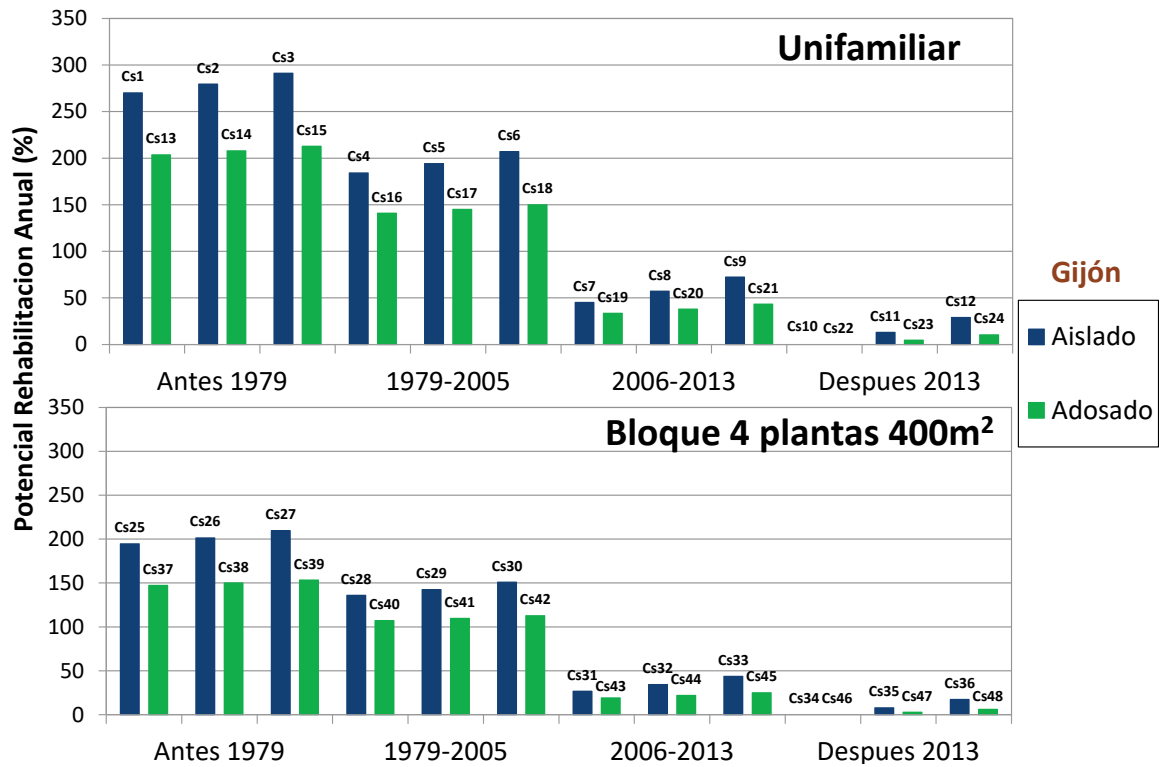


Fig. 4. Potencial de Rehabilitación anual obtenido para 48 casos de estudio en Gijón.

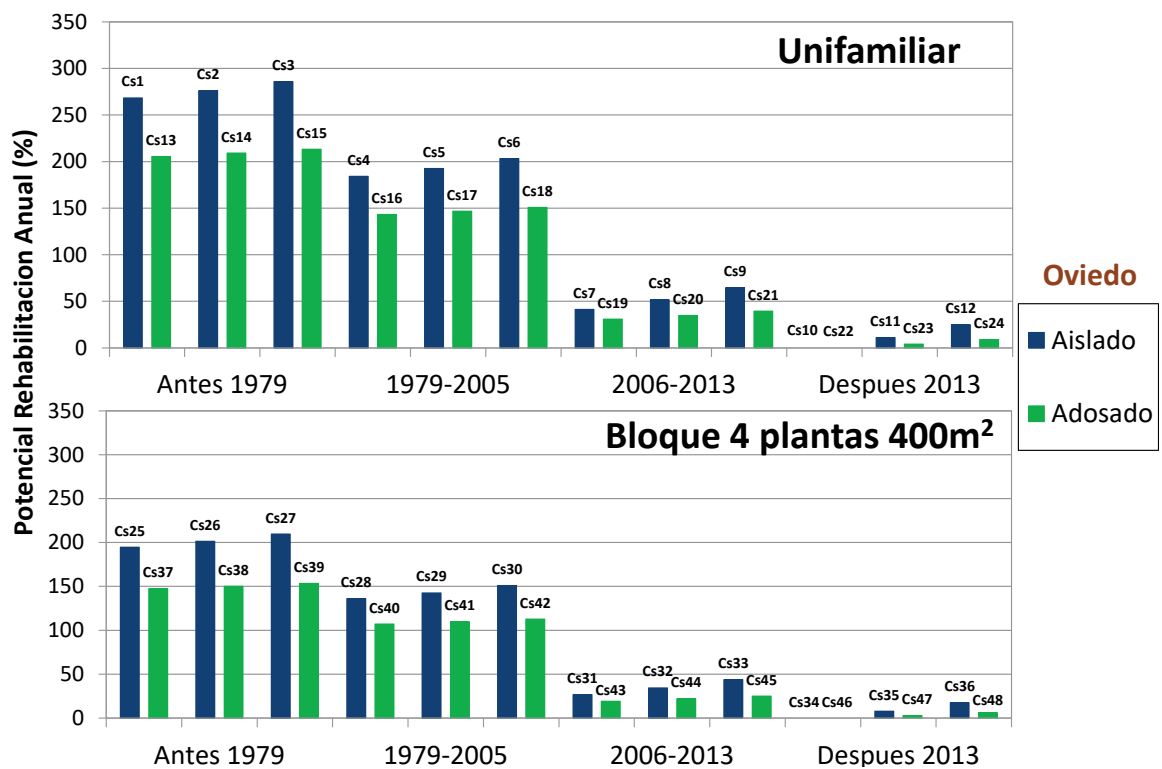


Fig. 5. Potencial de Rehabilitación anual obtenido para 48 casos de estudio en Oviedo.

Los mayores potenciales se alcanzan en las configuraciones aisladas (barras azules) frente a las adosadas (barras verdes). Para normativas anteriores a 2006 las configuraciones adosadas alcanzan potenciales entorno a un 25% menos que las aisladas, aumentando estas diferencias entre configuraciones a un 33% para la normativa 2006-2013 y a un 64% para la normativa posterior a 2013. Los porcentajes de rehabilitación son más relevantes en viviendas

unifamiliares, donde los valores oscilan entre 280% y 190% para normativas anteriores a 1979 y 1979-2005 respectivamente. Mientras que en los bloques los porcentajes oscilan entre 195% para la normativa anterior a 1979 y 140% para la normativa 1979-2005. Las características constructivas requeridas por las normativas posteriores a 2006 disminuyen las demandas térmicas anuales de las viviendas, reduciendo así el potencial de rehabilitación a valores entorno al 60-20% para la normativa 2006-2013 y entorno al 13-2% con la normativa posterior a 2013.

## CONCLUSIONES

Uno de los resultados obtenidos en el proyecto RehabilitaGeoSol es la creación de dos herramientas web para cuantificar el potencial de rehabilitación en el Principado de Asturias. Se han evaluado ocho modelos de viviendas residenciales tipo en tres zonas climáticas, cuatro normativas edificatorias y diferentes porcentajes de sombra estival sobre las ventanas. La herramienta 1 calcula, para cada distrito del Principado de Asturias, el potencial máximo de rehabilitación. Mientras que la herramienta 2 permite obtener un potencial personalizado en función de las características de entrada a la herramienta.

Analizando los resultados obtenidos en 48 casos en Gijón y Oviedo, se obtienen mayores potenciales de rehabilitación en viviendas unifamiliares frente a bloques de viviendas, disminuyendo sensiblemente a medida que aumentan las restricciones de las normativas edificatorias. Las configuraciones aisladas alcanzan mayores potenciales de rehabilitación frente a las configuraciones adosadas. Los valores personalizados obtenidos muestran porcentajes muy similares en Gijón (zona climática C1) y en Oviedo (zona climática D1).

## AGRADECIMIENTOS

El trabajo se desarrolla dentro del proyecto REHABILITAGEOSOL (RTC-2016-5004-3)- Plan RETO 2016, cofinanciado con Fondos FEDER y subvencionado por el MINECO de España. El trabajo de computación se ha llevado a cabo utilizando las instalaciones informáticas del Centro Extremeño de Tecnologías Avanzadas (CETA-CIEMAT) subvencionado con Fondos FEDER.

## REFERENCIAS

- International Energy Agency. (2020). <https://www.iea.org/topics/energyefficiency/buildings/>
- Ministerio de Energía Turismo y Agenda Digital. (2017). Plan Nacional De Acción De Eficiencia Energética 2017-2020, 224. [https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/es\\_necap\\_2017\\_es.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/es_necap_2017_es.pdf)
- European Commission. (s. f.). HORIZON 2020 – WORK PROGRAMME 2018-2020. [http://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/wp/2018-2020/main/h2020-wp1820-intro\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/wp/2018-2020/main/h2020-wp1820-intro_en.pdf)
- Parlamento Europeo y del Consejo. (2012). Directiva 2012/27/UE del parlamento Europeo y del Consejo relativa a la eficiencia energética. Diario Oficial de la Unión Europea. <https://www.boe.es/doue/2012/315/L00001-00056.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística (INE). (2012). Censos de Población y Viviendas 2011. [https://doi.org/http://www.ine.es/censos2011\\_datos/cen11\\_datos\\_resultados.htm](https://doi.org/http://www.ine.es/censos2011_datos/cen11_datos_resultados.htm)
- Gobierno de España. Real Decreto 2429/1979, del 9 de julio, por el que le aprueba la norma básica de edificación NBE-CT-79, sobre condiciones térmicas en los edificios, Boletín Oficial del Estado (1979). <https://www.boe.es/boe/dias/1979/10/22/pdfs/A24524-24550.pdf>
- Varela S., Viñas C., Rodríguez A., Aguilera P. (2018). Análisis del comportamiento térmico del Sistema SATE: Edificio rehabilitado en Madrid. *Anales de Edificación* 4(4), 35-41.
- López Rodríguez F., Cuadros F., et al. (2011). PETER Building: An example of bioclimatic building and integration of renewable energies into the edification. *Dyna Ingeniería Industrial* 86, 212-221.
- Munarim U., & Ghisi E. (2016). Environmental feasibility of heritage buildings rehabilitation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 58, 235-249.
- Rodríguez A., Martínez M. D., González A., Ferreira P., & Marrero M. (2017). Building rehabilitation versus demolition and new construction: *Economic and environmental assessment. Environmental Impact Assessment Review* 66, 115-126.
- Li W., Zhou Y., Cetin K., Eom J., Wang Y., Chen G., et al., (2017). Modeling urban building energy use: a review of modeling approaches and procedures. *Energy* 141, 2445-57.



Soutullo S., Giancola E., Franco J.M., Boton M., Ferrer J.A., Heras M.R., (2017). New simulation platform for the rehabilitation of residential building in Madrid. *Energy Procedia* 122, 817-22.

RehabilitaGeoSol. (2020). <http://projects.ciemat.es/es/web/rehabilitageosol/>

Ministerio de Fomento. Documento básico HE: Ahorro de Energía (CTE), Gobierno de España. (2020). <https://www.codigotecnico.org/> [15 March 2020].

Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico. Documentos reconocidos de Energía y Desarrollo Sostenible, Gobierno de España. (2020). <https://energia.gob.es/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/Paginas/certificacion.aspx>