

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN 2019

MEMORIA DEL PROYECTO Nº SV-19-GIJON-1-06

1. DATOS DEL PROYECTO

Título: Aplicación de conceptos de sostenibilidad y ciclo de vida a la rehabilitación de edificios de interés público situados en Gijón

Investigador/a/es responsable/es: M^a Manuela Prieto González y Yolanda Fernández Nava

Tfno: 985182115 y 985182476; **E-mail:** manuelap@uniovi.es y fernandezyolanda@uniovi.es

Otros investigadores: Leonor Castrillón Peláez; Luis Negral Alvarez y Daniel González Prieto

Empresas o instituciones colaboradoras: Consejería de Infraestructuras, Ordenación del Territorio y Medio Ambiente; Centro Municipal de Empresas- Edificio Cristasa; Daniel González A&D

2. MEMORIA DESCRIPTIVA DEL PROYECTO

2.1 Resumen ejecutivo

El resumen ejecutivo del Proyecto debe ser una síntesis clara y concisa del trabajo realizado, describiendo brevemente los motivos que justifican su realización, los beneficiarios, los objetivos específicos y su grado de consecución, la metodología aplicada y los resultados obtenidos.

Las preocupaciones sobre los aspectos ambientales han llevado a un creciente interés por los estudios del ciclo de vida aplicados a la edificación, con los impactos reflejados en la declaración medioambiental de producto EN 15804 y en el comportamiento medioambiental de los edificios EN 15978. Los problemas a abordar se refieren no solo al funcionamiento energético de los edificios, sino a impactos medioambientales y otros con repercusión, de carácter social, cultural y económico. En cuanto a impactos medioambientales en este proyecto se ha analizado la energía incorporada, el potencial de calentamiento global, y otros impactos de empleo menos extendido como el potencial de agotamiento de la capa de ozono, el potencial de acidificación, el potencial de eutrofización, huella hídrica, carcinógenos, etc. Los aspectos sociales y culturales que definen de forma más amplia la sostenibilidad se han considerado al tener en cuenta el edificio al que se ha aplicado el estudio: antigua Fábrica de Vidrio declarado de interés patrimonial con protección integral y que fue sometida a una primera rehabilitación para uso de Oficinas en los años 1990-1992, de titularidad del Ayuntamiento de Gijón, denominado CRISTASA.

El presente proyecto se centró en el estudio de la rehabilitación/deconstrucción y en el análisis de sostenibilidad del plantamiento de nuevas alternativas de mejora, tanto de la envolvente como de los sistemas térmicos. Las mejoras que se han estudiado se aplicaron a este edificio de interés público teniendo en cuenta algunos aspectos inherentes a la protección del mismo. Sin embargo, la posibilidad

real de implantación de las medidas que han sido estudiadas sería objeto de un estudio posterior sobre la tramitación y coste de ejecución de las mismas.

La información existente en las bases de datos para realizar estudios de ciclo de vida, como la de ARQUIMEDES en CYPECAD se ha comprobado y adaptado a las particularidades de Gijón, y la fabricación de materiales y el suministro de los mismos ha procedido de empresas y distribuidores locales y regionales (Asturias). La herramienta de análisis del ciclo de vida (ACV) que se ha utilizado es SIMAPRO versión 8, disponible por el Grupo de Investigación que ha desarrollado este proyecto.

Se estudiaron los impactos a lo largo de la vida considerando el edificio en su estado actual, rehabilitado con cambio de ventanas, rehabilitado con refuerzo interior del aislamiento de muros, y sumando ambas acciones sobre la envolvente. El cuanto al estudio de impactos debidos a la energía de uso y a los sistemas térmicos se realizaron los estudios de ACV del edificio alimentado con energía eléctrica de red (estado actual), introducción de paneles fotovoltaicos (PV) en tejado, cambio a calefacción y agua caliente sanitaria con bombas de calor (BC); y suma de ambas acciones (empleo de PV, BC y resto red eléctrica).

Al comparar el edificio sin rehabilitar todo red con el edificio totalmente rehabilitado en la envolvente y con los sistemas renovables (PV Y BC) los impactos disminuyen en un 20% aproximadamente en Human Health (Salud Humana) y Ecosystem Quality (Calidad de los Ecosistemas), un 35% en Climate Change (Cambio Climático) y un 42% en Resources (Fuentes). En cuanto a las etapas del ciclo de vida del edificio: 1º los impactos de los materiales aumentan en Human Health (33%), Climate Change (36%) y Resources (32%); 2º los impactos de energía de uso disminuyen de forma muy considerable en Human Health (26%), Ecosystem Quality (23%), Climate Change (41%) y en Resources (47%); 3º el fin de vida del edificio rehabilitado produce unos impactos similares en todas las categorías de daño disminuyendo los impactos en torno al 200%.

2.2 Objetivos iniciales del proyecto y grado de consecución

- A) Estudio de las bases de datos existentes para algunos materiales de los edificios utilizados en el sector de la construcción, particularizando para el caso de Asturias. Grado de consecución 100%.
- B) Definición de propuestas de rehabilitación conceptual y estudio de las mismas incluyendo los beneficios de ahorro energético y sostenibilidad de los materiales propuestos. Grado de consecución 100%.
- C) Proposición de metodologías de estudio de sostenibilidad y análisis de impactos. La herramienta utilizada ha sido SIMAPRO versión 8 por su disponibilidad por parte del grupo de investigación y por sus características de reconocimiento y contrastación en el mundo científico. Grado de consecución 100%.
- D) Evaluación de la sostenibilidad de edificios de interés públicos ubicados en Gijón. El estudio se ha realizado de forma completa para un edificio de Oficinas denominado Cristasa. Grado de consecución 100%.

2.3 Tareas realizadas

El proyecto comprendió las tareas, que se resumen en siete puntos y que se explican a continuación:

1º Selección de alternativas de mejora para un edificio dentro de los edificios de oficinas a cargo del Ayuntamiento de Gijón. Se definió para estudio el edificio CRISTASA.

2º Revisión de las bases de datos existentes para comprobar su adecuación al caso de Asturias utilizando el software SIMAPRO versión 8. Se partió de la base de Datos ARQUIMEDES de CYPECAD 2017 y se

analizaron diversos casos de componentes constructivos (hormigones, aislamientos, vidrios, marcos y paredes interiores de cartón-yeso) de edificios evaluados con ella desde el punto de vista medioambiental: ARQUIMEDES solamente contempla la obtención de los impactos de energía embebida y de producción de CO₂. Los resultados de éstos impactos medioambientales fueron comparados con los que se obtienen de la aplicación del programa SIMAPRO en las etapas de fabricación de materiales, embalajes y sus transportes, con resultados satisfactorios, ya que los impactos se obtuvieron con diferencias asumibles.

3º) Complementación de la información referida a impactos ambientales mediante el cálculo de otros impactos no considerados hasta el momento o considerados de forma más resumida, tales como, la salud humana, calidad de los ecosistemas, cambio climático y el consumo de recursos, entre otros. Para ello se realizó el Análisis de Ciclo de Vida de cada material estudiado mediante el empleo del software SIMAPRO. En el estudio de impactos se utilizó el método de evaluación IMPACT 2002+, después de analizar cuál podría ser el método disponible en SIMAPRO ideal para el estudio de impactos de construcción de edificios en base a los utilizados en las referencias bibliográficas internacionales. El método escogido permite analizar las categorías de impacto y de forma más global las categorías de daño (agrupando las categorías de impacto).

4º) Estudio energético del edificio sin rehabilitar/mejorar utilizando la herramienta CE3X y CERMA.

5º) Definición de las propuestas de rehabilitación con consideraciones estéticas, funcionales, energéticas y medioambientales y de mejora del confort. El nivel de protección del edificio limita tanto los cambios en la envolvente exterior como en el interior. Por ello, se consideró a nivel de estudio la rehabilitación de los muros exteriores aplicando únicamente aislamiento por el interior y la sustitución de las ventanas y marcos por otras alternativas que cumplen las exigencias del Código Técnico de la Edificación actual. Dada la limitación de la intervención en elementos que se quieren conservar por su carácter patrimonial, se planteó la rehabilitación o cambio de los sistemas térmicos actuales. Actualmente hay instalado suelo radiante eléctrico de uso limitado en plantas diferentes de la planta baja. En las oficinas hay instalados radiadores eléctricos que son de uso muy mayoritario.

En lo que concierne a la rehabilitación de la envolvente. Se estudiaron los casos siguientes obteniendo además las demandas de energía: a) Edificio sin rehabilitación de la envolvente; b) Edificio cambiando las ventanas; c) edificio aislando interiormente los muros y d) edificio cambiando las ventanas y aislando los muros interiores.

En cuanto al cambio o rehabilitación de los sistemas térmicos, se contempló la utilización de paneles fotovoltaicos en el tejado, la utilización de bomba de calor para calefacción y agua caliente sanitaria, y la suma de los dos cambios proporcionando la energía restante con la red eléctrica nacional. Se estudió una instalación solar fotovoltaica de paneles en las dos aguas del tejado del edificio, variando de forma poco apreciable la estética y no incidiendo en la gran claraboya central que da luz exterior al edificio (240 paneles en la cubierta Oeste y otros 240 paneles en la cubierta Este), con esta disposición de paneles se cubren 926.64 m² de la superficie de la cubierta. Se evaluó la energía anual que se produciría anualmente en Gijón para la orientación e inclinación de paneles igual a las de cada cubierta obteniendo que se podría suplir aproximadamente el 18 % de la energía eléctrica actualmente demandada por el edificio sin rehabilitar. Se estudió también la mejora medioambiental y energética de utilizar un suelo radiante hidrónico asistido por una bomba de calor con potencia estimada de 75 kW y con capacidad para atender a la calefacción y al agua caliente sanitaria. Este cambio supone disminuir de forma muy considerable los impactos medioambientales de la energía de uso, ya que se ha estimado para la bomba a colocar una eficiencia de uso de 2,419, con lo que por cada kWh eléctrico que se consume, se

producen 2,419 kWh térmicos. Teniendo en cuenta estos estudios, se ha realizado la valoración de impactos de 16 supuestos.

6º) Obtención de ACV de los supuestos. Los materiales de fabricación utilizados fueron los que contenía en su base SIMAPRO, pero tuvieron que ser completados con los impactos particularizados del transporte y con el Fin de Vida ya que las bases de materiales no incluyen frecuentemente este cálculo al no tener sentido para cada material de forma aislada, sino en la aplicación conjunta al edificio. Para el edificio se estimó una vida total sin necesidad de una rehabilitación prácticamente integral hasta transcurridos 100 años. En este periodo se consideró un cambio para la rehabilitación térmica de los muros exteriores del edificio y cuatro cambios de ventanas a aluminio y triple cristal (los primeros 20 años ventanas de madera y vidrio doble actuales y luego cambios a ventanas de altas prestaciones con marcos de aluminio totalmente reciclable y vidrios de altas prestaciones).

En lo que se refiere a los sistemas energéticos nuevos, la utilización de paneles no estaba cubierta de forma completa en SIMAPRO, ya que no incluía la etapa del Fin de Vida, por lo que fue preciso introducirla de forma específica. Lo mismo ocurrió con el suelo radiante hidrónico y con la bomba de calor. Para el mantenimiento de los elementos se consideró para el suelo hidrónico el cambio cada 50 años y para la instalación de los paneles solares y para la bomba de calor un reemplazamiento cada 30 años.

Para estos supuestos de mantenimiento y de rehabilitación, se estudió el Fin de Vida considerando la deconstrucción y tratamiento de residuos. Se consideró el envío a vertedero de una parte del residuo de construcción y demolición, que siempre se pierde en la deconstrucción, la clasificación de elementos después de envío a una planta de clasificación y el envío a vertedero del rechazo de esta planta, y por último el tratamiento en etapa de reciclado, con productos que se envían a incinerar, a vertedero o a la fabricación de los componentes originales, o en otros usos. La consideración de estas etapas tiene impactos negativos al consumirse energía y producirse contaminantes en la clasificación y tratamientos. Sin embargo, algunos procesos de tratamiento, por ejemplo, cuando se recuperan materiales para volver a fabricar el mismo elemento de origen o en producción de otros productos, los impactos pueden contribuir positivamente.

7º) Evaluación de herramientas para estudio de la sostenibilidad. Utilización de un software comercial/libre para análisis y cálculo de la sostenibilidad de los edificios rehabilitados/mejorados. La herramienta evaluada fue SIMAPRO V8 y ha demostrado tener una cobertura de materiales y equipos (sistemas térmicos) muy adecuada.

2.4 Resultados obtenidos

2.4.1 Edificio sin rehabilitación y rehabilitación de la envolvente.

El método utilizado ha sido Impact 2002+, que se usa intensivamente como uno de los métodos denominados “end point methods”. El método considera cuatro categorías de daño “endpoint”: Human Health (Salud humana), Ecosystem Quality (Calidad de los Ecosistemas), Resources (Fuentes), and Climate Change (cambio Climático). Dentro de estas categorías están otras “midpoint” con impactos como en salud: Carcinógenos, no Carcinógenos, Orgánicos Respirables, Radiación Ionizante; Daño de la Capa de Ozono; Orgánicos Respirables; en Calidad de los Ecosistemas: Ecotoxicidad Acuática y Terrestre, Nutrición/Acidificación Terrestre, Ocupación de tierra, Acidificación y Eutricación Acuática; en Cambio Climático el Calentamiento Global; y en Fuentes Energía: no Renovable y Extracción de Minerales.

Estudio del Edificio y las Rehabilitaciones de la envolvente.

La Figura 1 muestra la contribución porcentual a categorías de daño que se producen debido a la fabricación de los componentes del edificio sin rehabilitación de la envolvente. Por orden importancia en las categorías de daño de mayor a menor, se destacan la cubierta, la solera, los forjados y los muros exteriores.

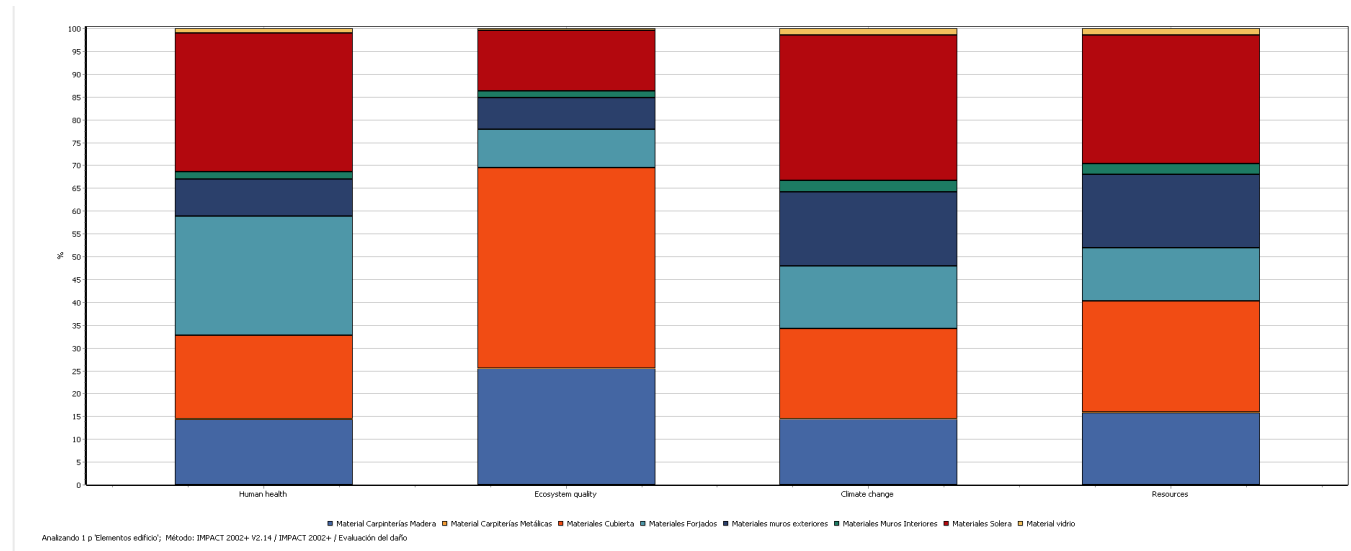


Figura 1. Contribución a las categorías de daño debido a la fabricación de los diferentes componentes del edificio. Caso base sin rehabilitación de la envolvente.

La Figura 2 muestra la contribución a las categorías de daño de los elementos o materiales que forman la cubierta y destacan: el contrachapado, el acero (galvanizado y no aleado), el policarbonato y el cartón-yeso.

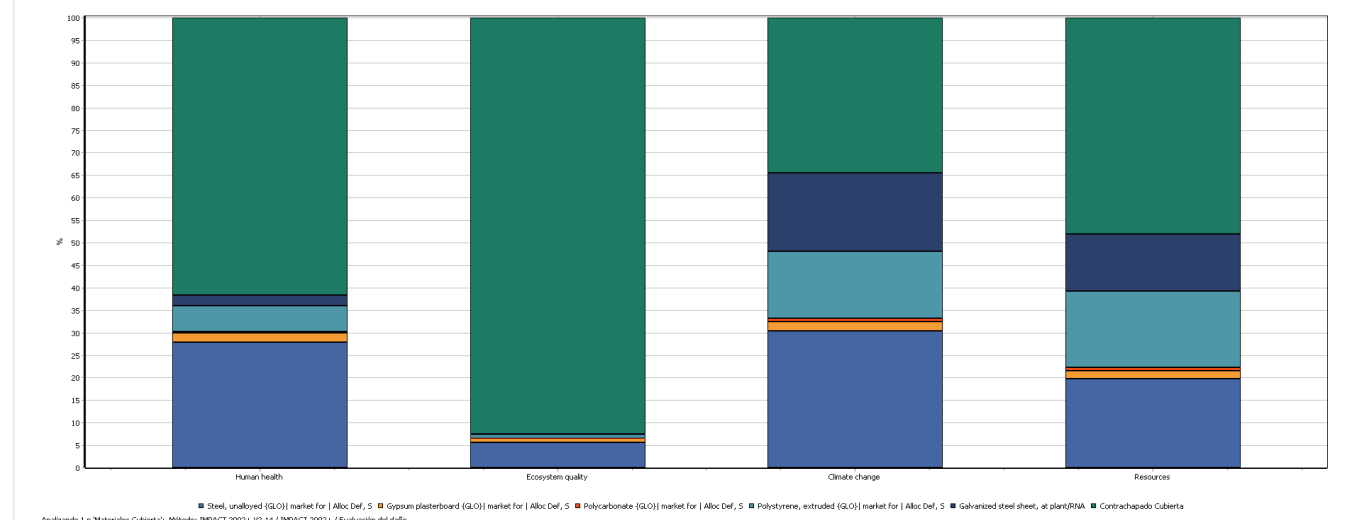


Figura 2. Contribución a las categorías de daño debido a la fabricación de los diferentes elementos (materiales) de la cubierta. Caso base sin rehabilitación de la envolvente.

La Figura 3 muestra resultados para las etapas del ciclo de vida del edificio sin rehabilitar la envolvente y sin cambio en los sistemas térmicos, es decir la situación actual. Se representa la contribución de las

diferentes etapas del ciclo de vida (fabricación de materiales, transporte para la construcción del edificio, energía para uso, demolición y fin de vida del edificio). Las categorías de daño, se muestran desglosadas en las correspondientes categorías de impacto. Es evidente que lo que más contribuye al daño es la etapa de uso del edificio (más de aproximadamente un 80%). Este hecho junto a la dificultad de abordar cambios en la envolvente del edificio debido a su protección, hace que el interés se centre en las acciones sobre los sistemas térmicos, que son responsables de la elevada energía de uso. También se aprecia que el tratamiento de residuos en general y el reciclado en particular contribuyen aportando efectos positivos en el ACV del edificio. Esto da pie al nuevo proyecto que se solicitará que se centrará en el estado actual del fin de vida y el reciclado de los productos de construcción. El reciclado del acero que se ha considerado disminuye el impactos de categorías de daño que afectan a la salud humana, como se aprecia respecto a Carcinógenos, No-Carcinógenos y Elementos Respirables Orgánicos e Inorgánicos.

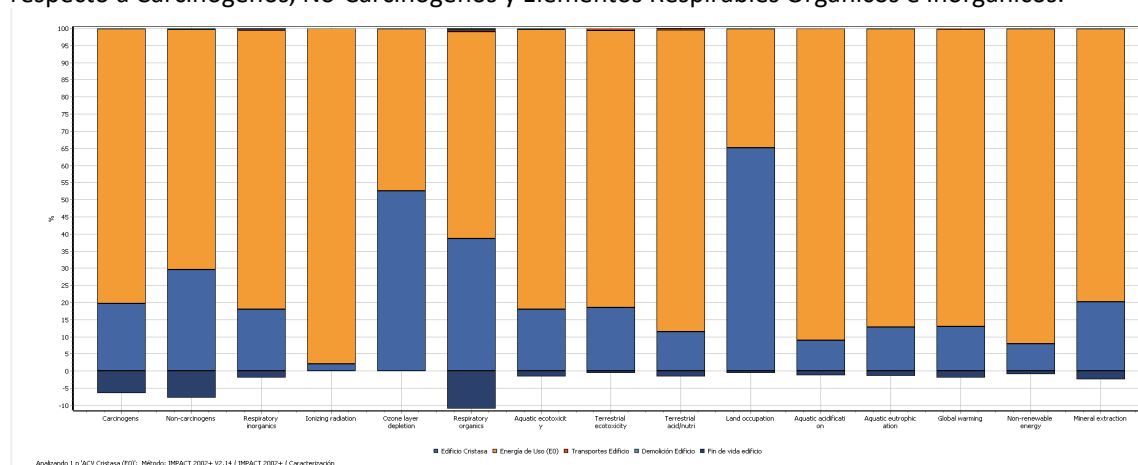


Figura 3. Contribuciones a categorías de impactos de las etapas del ciclo de vida para el edificio en su estado actual, sin rehabilitación de la envolvente y sin cambio en los sistemas térmicos.

La Figura 4 muestra los efectos de la rehabilitación de la envolvente, no actuando sobre los sistemas térmicos, es decir utilizando energía de red. Los daños aumentan en general al ampliar la rehabilitación: en Human Health aumentan hasta un valor máximo de 1,25% para el edificio totalmente rehabilitado, siendo el valor mínimo 0,3% para el daño Climate Change. En cuanto a Ecosystem Quality los daños disminuyen (hasta un 3,6%) cuando se modifican las ventanas esto es debido a la sustituciones de la madera por las nuevas carpinterías de aluminio que se recicla al 100%, esta tendencia está originada por la categoría de impacto Ocupación de Tierra, que tiene un impacto mucho menor cuando se sustituye por ventanas de aluminio.

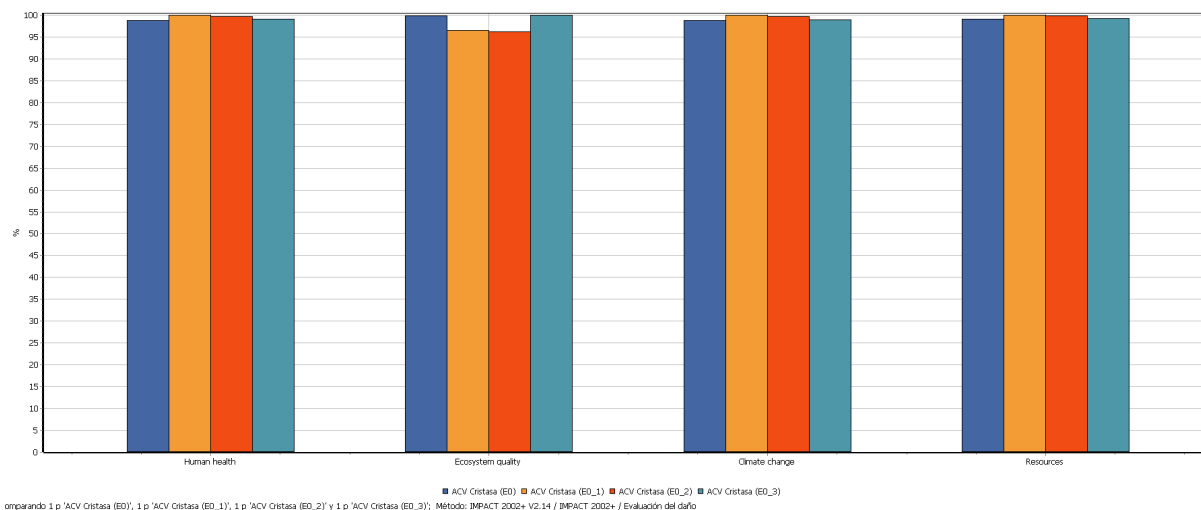


Figura 4. Categorías de daño conforme se rehabilita la envolvente del edificio manteniendo el sistema de energía actual de todo energía de red.

2.4.2 Rehabilitación de la envolvente y utilización de energía renovable.

La Figura 5 muestra todos los resultados de los 16 casos estudiados con escenarios $E_{i,j}$. Las variaciones en los sistemas energéticos corresponden al primer índice, i : número, 0 (todo red); 1 (introducción PV); 2 (introducción BC); 3 (introducción PV y BC). Las variaciones en la envolvente corresponden al segundo índice, j , y sin segundo índice es el caso del edificio sin rehabilitación de la envolvente: $_1$ (cambio de ventanas); $_2$ (cambio de muros exteriores); y $_3$ (cambio total, ventanas más muros exteriores).

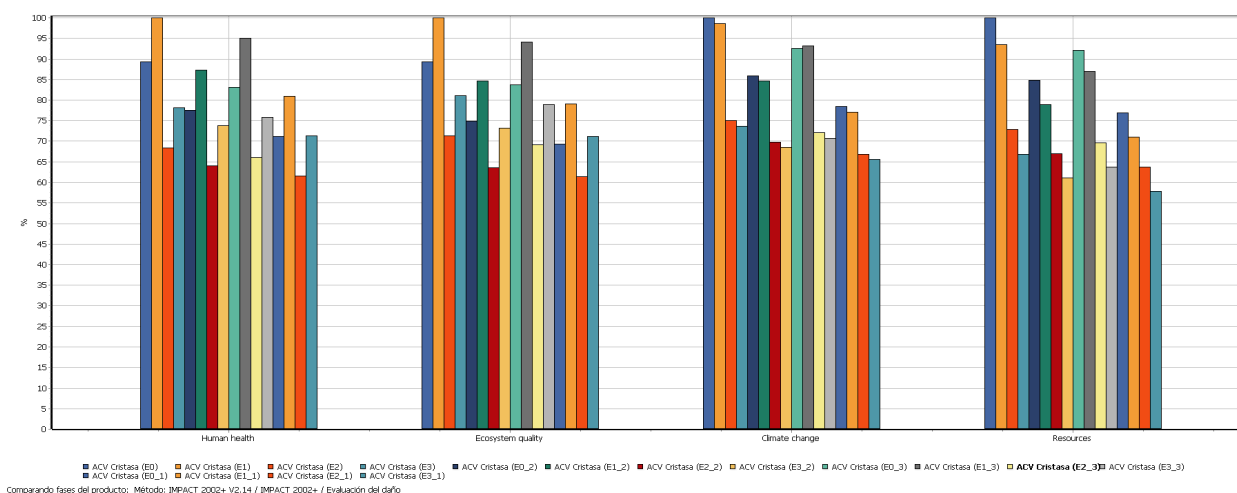


Figura 5. Resultados análisis ACV de las categorías de daño para todos los escenarios analizados.

Del análisis del edificio totalmente rehabilitado y más empleo de energía renovable, se aprecia que el aumento del grado de rehabilitación y el empleo mayor de energía renovable tienen el mismo sentido de variación en los daños Resources y Climate Change, que disminuyen en 42,2% y en 34,5% respectivamente. Respecto a Human Health y Ecosystem Quality las disminuciones son respectivamente: 20,04% y 20,4%.

El escenario de edificio total rehabilitado en envolvente y utilización de renovables con uso solamente de paneles PV indica que los daños en Resources, Climate Change, Human Health y Ecosystem Quality disminuyen respectivamente: 29%, 22,9%, 9,3% y 11,4%.

Por otro lado, el escenario de edificio total rehabilitado en envolvente y uso de renovables con solamente bomba de calor, refleja que los daños en Resources, Climate Change, Human Health y Ecosystem Quality disminuyen respectivamente: 36,2%; 33,2%; 31% y 31,3%.

Edificio sin rehabilitar efectos al introducir sistemas térmicos más renovables. Respecto a Human Health y Ecosystems Quality al introducir paneles fotovoltaicos los daños aumentan con respecto al caso base un 10,7 % en ambos casos y en Climate Change se produce una disminución de 1,4% y en Resources de un 6,5%. Sin embargo, cuando se introduce la bomba de calor los daños disminuyen respectivamente un 2,1% y un 4,7 % en Human Health y Ecosystem Quality y en Climate Change y Resources se produce una disminución del 23% y 20,1% respectivamente.

Al comparar el edificio sin rehabilitar todo red con el edificio totalmente rehabilitado en la envolvente y con los sistemas renovables (PV Y BC) los impactos disminuyen en un 20% aproximadamente en Human Health y Ecosystem Quality; un 35% en Climate Change y un 42% en Resources. En cuanto a las etapas del ciclo de vida del edificio: 1º) los impactos de los materiales aumentan en Human Health (33%), Climate Change (36%) y Resources (32%); 2º) los impactos de energía de uso disminuyen de forma muy considerable en Human Health (26%), Ecosystem Quality (23%), Climate Change (41%) y en Resources (47%); 3º) el impacto del transporte es un 4% menor para todos los casos debido a que en el edificio se introducen ventanas de aluminio que bajan el peso; 4º) el impacto de la demolición aumenta muy escasamente; y 5º) el fin de vida del edificio rehabilitado produce unos impactos similares en todas las categorías de daño disminuyendo los impactos en torno al 200%.

2.4.3 Huella Hídrica.

La Figura 6 muestra la Huella Hídrica de los 4 escenarios de cambio en sistemas energéticos del edificio Cristasa sin rehabilitación de la envolvente (todo red, E0; introducción de paneles PV y resto red, E1, introducción de bomba de calor y resto red, E2; e introducción de paneles+ bomba de calor y resto de red, E3. El método que se usó de SIMAPRO es el propuesto por Hoekstra et al. 2012. Se presentan los datos de Huella Hídrica Embebida y se agregan los m3 de agua que se calculan, donde se pone de manifiesto el efecto de la repercusión de los diferentes sistemas térmicos considerados:

Escenario E0 (con solo energía de red): 66673. 5 m3

Escenario E1 (con energía PV instalación en tejado 480 paneles y resto energía de red: 71459.8 m3

Escenario E2 (bomba de calor de 75 kW y resto energía de red): 50812.3 m3

Escenario E4 (bomba de calor; Paneles PV y resto energía de red): 55595.3 m3

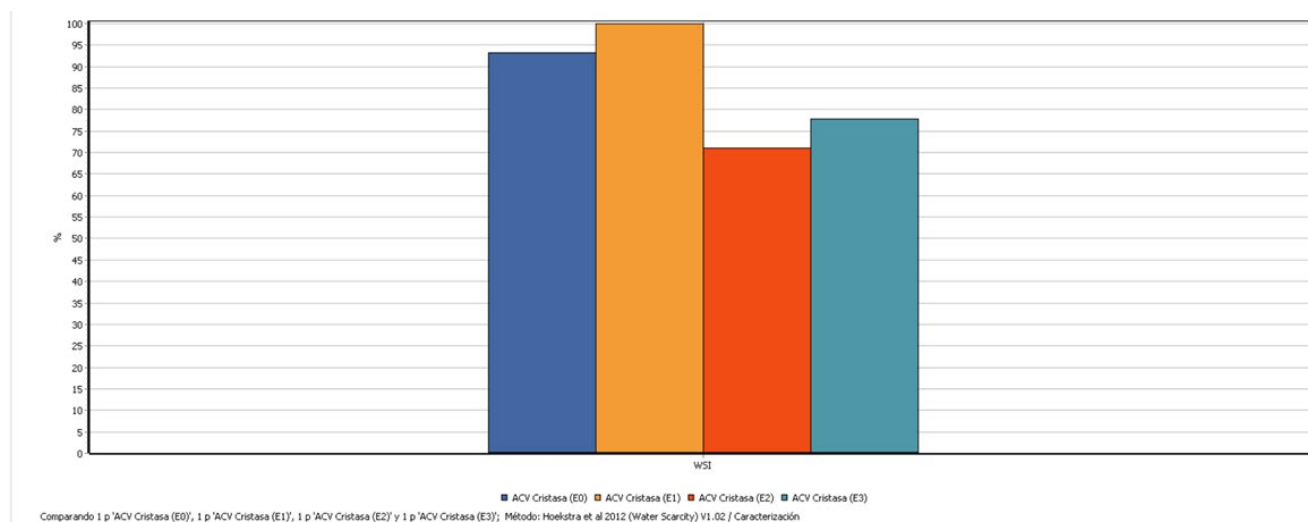


Figura 6. Estudio preliminar de comportamiento de la Huella Hídrica para el edificio sin rehabilitación de le envolvente y considerando escenarios de diferente energía de uso.

2.5 Trabajos o necesidades futuras

A) Los resultados antes expuestos están pendientes de ampliación, descripción más completa y de divulgación en Congresos Internacionales y Revistas Científicas de alto impacto a realizar por los miembros investigadores del grupo de trabajo durante los próximos meses (al menos un artículo an Congreso y otro en revista de alto impacto). En Congresos, tentativamente: 11th European Congress on Energy Efficiency and Sustainability in Architecture and Urbanism (EESAP 11) and 4th International Congress on Advanced Construction (CICA 4), 2020; International Conference on Sustainability in Energy and Buildings SEB-20; 2020. En revista tentativamente al menos un artículo más (adicional al ya enviado que se indica después) en Building and Environment. Elsevier (Q1), y otras revistas a considerar podrían ser Construction and Building Materials y Journal of Building Engineering.

B) Se ha visto también durante el desarrollo de este proyecto, la carencia de una buena definición y seguimiento en España, Asturias y de forma Local (Gijón) del seguimiento y tratamiento de los Residuos de Construcción y Demolición. Título orientativo: "Análisis de la situación de la gestión de los residuos de construcción y demolición (RCD) en un marco global y local".

2.6 Divulgación de los resultados (publicaciones, artículos, ponencias...)

Hasta la actualidad en el periodo del proyecto, que se inició en junio de 2020 aunque de forma no oficial en enero de ese año, se ha leído un Trabajo de Fin de Master: Estudio dinámico de la utilización de energía solar fotovoltaica auto-producida en un edificio de oficinas en Gijón, alumno Alberto Menéndez Menéndez y tutores M^a Manuela Prieto González y Daniel González, leído en Julio de 2019, sobresaliente 10 y propuesto para Matrícula de Honor. En curso el Trabajo de Fin de Grado:

Trabajo de Fin de Grado: Evaluación de impactos ambientales asociados a diferentes escenarios de rehabilitación y fin de vida de un edificio de oficinas de Gijón, mediante metodología basada en Análisis de Ciclo de Vida, alumno Rodríguez Lagar, Pablo (becario de este proyecto) y tutoras Yolanda Fernández Nava y M^a Manuela Prieto González (Investigadoras responsables del mismo. Fecha de lectura prevista Junio 2020.

Artículo en proceso de revisión en con relación con este proyecto en Building and Environment (Elsevier):

D. González; Y. Fernández-Nava; E. Marañón and M.M. Prieto; Effect of decarbonisation policies and climate change on environmental impacts due to heating and cooling in a single family house.

Artículo en procesos de revisión en relación con un proyecto anterior PROYECTO Nº SV-17-GIJÓN-1-22 y que será parte de la tesis de Bruno González (Becario). Pendiente de envío a Renewable Energy (Elsevier).

B. González and M.M. Prieto; Radiant heating floors with PCM bands for thermal energy storage: A numerical analysis.

3. MEMORIA ECONÓMICA

Financiación		Personal	Inventariable	Fungible	Otros gastos
IUTA	Nº SV-19-GIJON-1-06.	1711.125			
Otras fuentes	Referencia proyecto/contrato				
Estudiante con ayuda a la investigación	Nombre	Pablo Rodríguez Lagar			
	Tareas	Mediciones de los materiales del edificio, búsqueda de fabricantes y distancias de los mismos al edificio, con asistencia de otros miembros del grupo de investigación: clasificación y tratamiento de residuos e introducción de los datos en SIMAPRO			
	Período	19 de Junio a 31 de diciembre			

4. OTROS PROYECTOS Y CONTRATOS CON FINANCIACIÓN EXTERNA

Título del proyecto/contrato	
Referencia	
Investigador/a/es principal/es	
Equipo investigador	
Periodo de vigencia	
Entidad financiadora	
Cantidad subvencionada	