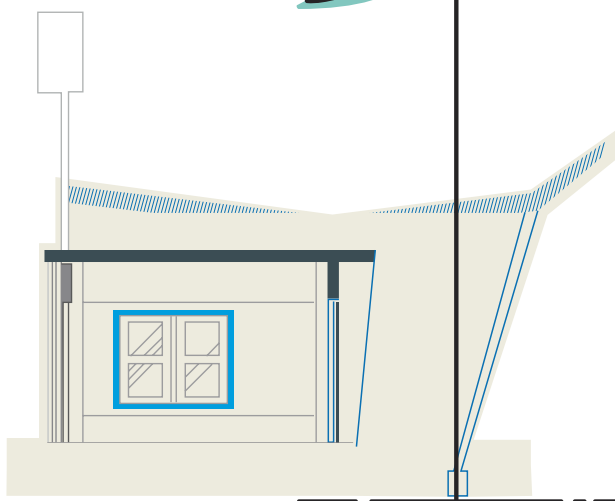
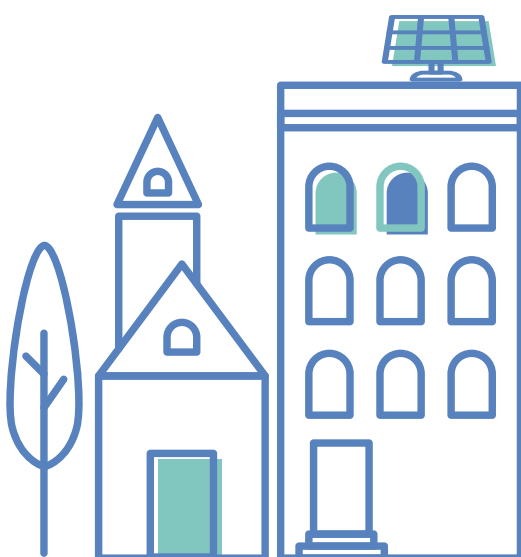
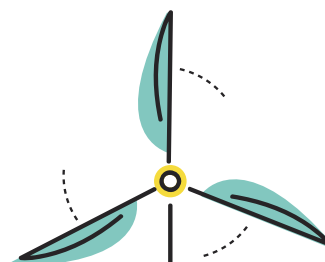


Manual del desempeño ambiental de los materiales y tecnologías utilizadas en la construcción de las viviendas sociales



Presidente de la Nación

Mauricio Macri

Secretario General de la Presidencia

Fernando De Andreis

Secretario de Gobierno de Ambiente y Desarrollo Sustentable

Rabino Sergio Bergman

Titular de la Unidad de Coordinación General

Patricia Holzman

Secretario de Cambio Climático y Desarrollo Sustentable

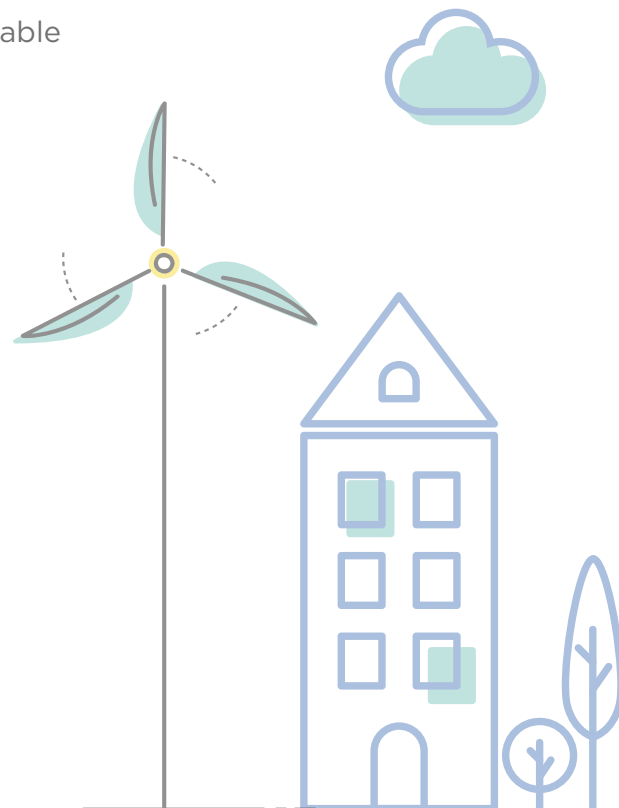
Carlos Bruno Gentile

Directora Nacional de Evaluación Ambiental

María Celeste Piñera

Director de Innovación para el Desarrollo Sustentable

Prem Demián Zalzman



Autoridades

Secretaría de Gobierno de Ambiente
y Desarrollo Sustentable

Hernán Roitman

Hernán Baulo D.

Javier Finkelstein

Equipo consultor

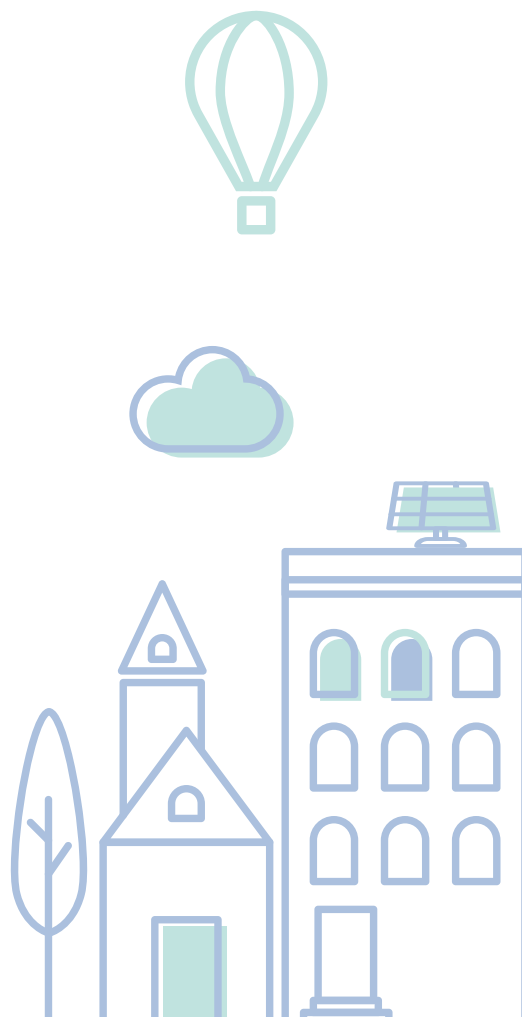
Alejandro Pablo Arena

Roxana Piastrellini

Silvia Curadelli

Paula Rodríguez

Fernando Arce

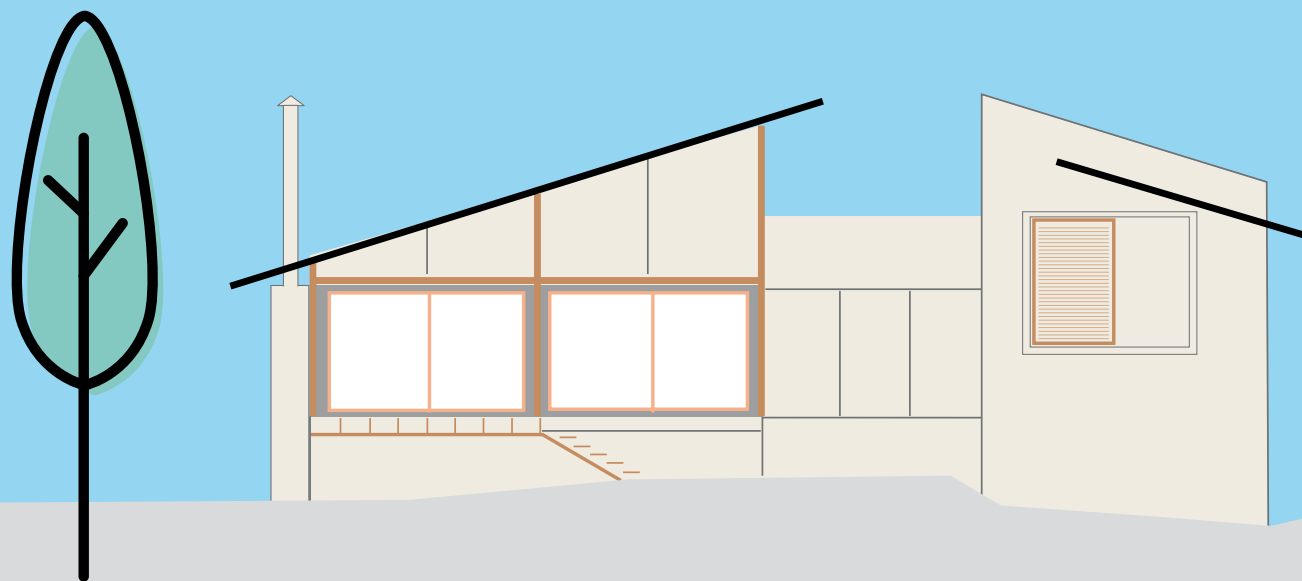


Equipo de Trabajo

Este manual fue impulsado por la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación en el Marco del Proyecto GEF AR-G 1002 “Eficiencia Energética y Energías Renovables en la Vivienda Social Argentina” y contó con el apoyo financiero del Banco Interamericano de Desarrollo que posibilitó la contratación de la Fundación Consultora Ciencia y Tecnología al servicio de la comunidad (CRICYT), una Fundación constituida por miembros del Centro Científico Tecnológico - CONICET-Mendoza - Argentina



Manual del desempeño ambiental de los materiales y tecnologías utilizadas en la construcción de las viviendas sociales





Índice

ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS	6
INTRODUCCIÓN	7
Estructura del manual	8
PARTE I: CONSIDERACIONES GENERALES	9
1. ¿Qué aspectos hay que tener en cuenta?	10
2. Ejemplo práctico de aplicación	13
PARTE II: COMPORTAMIENTO AMBIENTAL DE LOS MATERIALES Y TECNOLOGÍAS DE LA CONSTRUCCIÓN	17
3. Ventanas	17
4. Puertas exteriores	20
5. Muros exteriores	24
Muro de mampostería tradicional de ladrillo hueco vs Muro de hormigón celular	24
Muro de mampostería tradicional de ladrillo macizo vs Muro de mampostería tradicional con mejoras en la aislación térmica vs Muro seco de placas OSB	27
6. Techos	30
Techo de losa cerámica vs Techo de chapa y paneles PIR vs Techo seco de placas OSB	30
Techo de losa maciza vs Techo de panel monolítico estructural	34
Techo de chapa con cielorraso de yeso vs Techo de chapa con cielorraso de machimbre	38
7. Muros-trombe	44
8. Prototipos	47
9. Ciclo de Vida	54
PARTE III: ASPECTOS POCO ESTUDIADOS QUE MERECEN ATENCIÓN	56
Consideraciones finales	58

ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

ACV: Análisis del Ciclo de Vida

CABA: Ciudad Autónoma de Buenos Aires

CAE: Consumo Acumulado de Energía

CED: Cumulative Energy Demand (en español, Consumo Acumulado de Energía)

CORFONE: Corporación Forestal Neuquina S.A

DVH: Doble Vidriado Hermético

EPD: Environmental Product Declaration (en español, Declaración Ambiental de Producto)

EPS: Expanded polystyrene (en español, poliestireno expandido)

FV: fotovoltaico

GEI: Gases de Efecto Invernadero

GWP: Global Warming Potential (en español, Potencial de Calentamiento Global)

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change (en español, Panel Intergubernamental de Cambio Climático).

IPV: Instituto Provincial de la Vivienda.

MAC: Muro Acumulador de Calor

MT: Muro Trombe

OSB: Oriented Strand Board (en español, tablero de fibras orientadas)

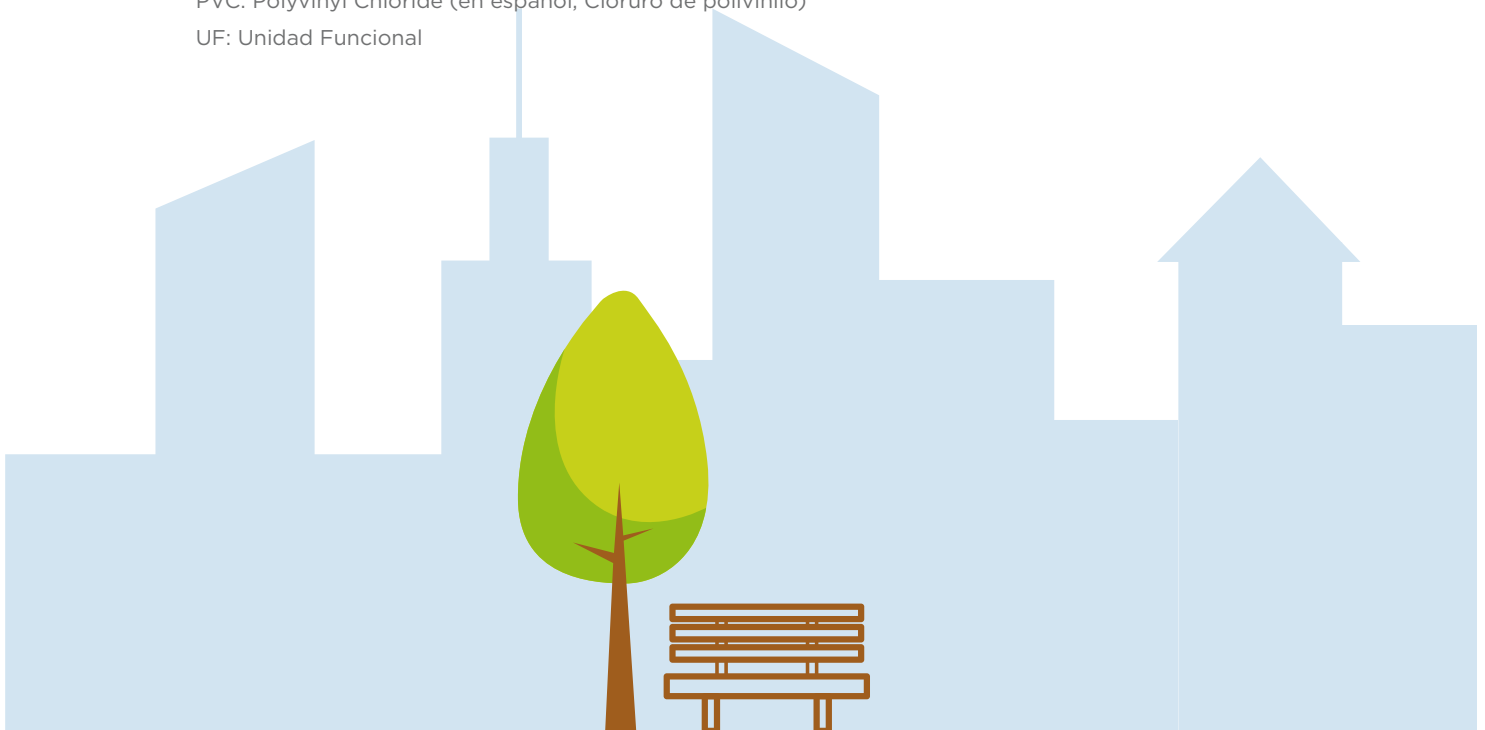
PCG: Potencial de Calentamiento Global

PCR: Product Category Rules (en español, Regla de Categoría de Producto)

PIR: Poliisocianurato.

PVC: Polyvinyl Chloride (en español, Cloruro de polivinilo)

UF: Unidad Funcional



INTRODUCCIÓN

Durante el desarrollo de este proyecto se han analizado distintos prototipos propuestos por los IPV de las diferentes regiones bioclimáticas del país, aplicando el método del Análisis de Ciclo de Vida (ACV).

El análisis se centró sobre las dos categorías de impacto más relevantes para este caso en particular:

- El Potencial de Calentamiento Global (PCG o GWP, por sus siglas en inglés), utilizando el método IPCC 2013 con horizonte temporal de 100 años.
- El Consumo Acumulado de Energía (CAE o CED, por sus siglas en inglés), basado en el poder calorífico inferior, también conocido como contenido energético del material o componente.

Para ello, ha sido necesario estudiar previamente, la composición de los elementos que integran las envolventes de esos prototipos, tales como los muros, techos, ventanas y puertas.

Además, se han analizado los materiales requeridos para la instalación de dichos componentes, por ejemplo la instalación de una ventana corrediza de aluminio en un muro de mampostería, o de una ventana de abrir de PVC y vidrio doble en un muro seco.

También se han analizado los dispositivos y tecnologías que permiten aprovechar de manera pasiva o activa los recursos energéticos renovables, tales como muros trombe, calefones solares y sistemas fotovoltaicos.

Del análisis de estos estudios se desprenden conclusiones y recomendaciones, que se vuelcan en este manual.

ESTRUCTURA DEL MANUAL

El manual se estructura en tres secciones:

Parte I

Consideraciones generales, donde se destacan los aspectos más relevantes a tener en cuenta al momento de realizar un ACV de materiales y tecnologías de la construcción. Esta sección incluye además un caso práctico de aplicación basado en resultados concretos alcanzados durante la ejecución del proyecto, a modo de ejemplo de cómo interpretar el análisis y qué conclusiones se pueden obtener.

Parte II

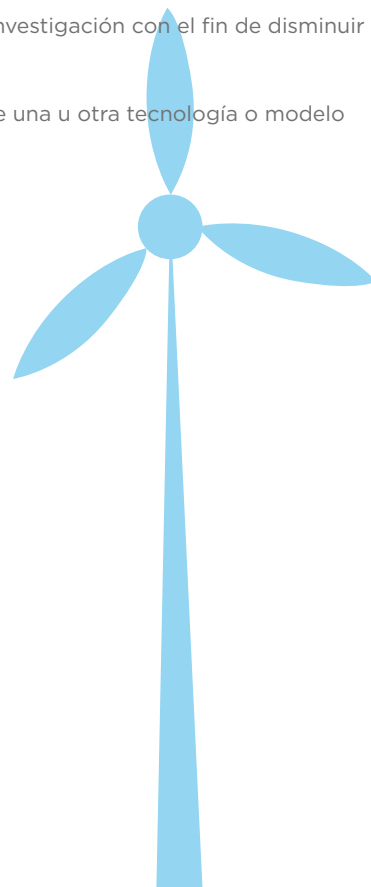
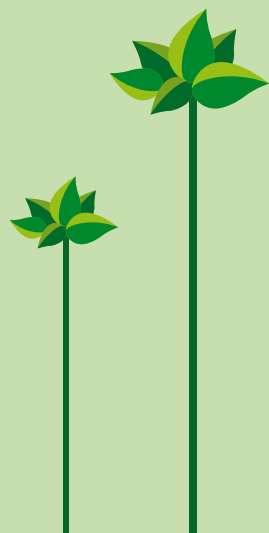
Comportamiento ambiental de materiales y tecnologías de la construcción, que incluye análisis comparativos de distintos componentes y tecnologías utilizadas en los prototipos de vivienda incluidos en el proyecto.

Parte III

Aspectos poco estudiados que merecen atención, donde se exponen cuestiones que suelen descuidarse en estudios de ACV aplicados a la construcción, pero que tienen una considerable influencia en los resultados.

Se espera que el presente documento permita:

- A los fabricantes, definir estrategias para mejorar el desempeño ambiental de sus productos, ya que conocerán dónde se originan los principales daños y cuáles son;
- Al sector académico, orientar sus actividades de investigación con el fin de disminuir los impactos;
- Y a los decisores políticos, impulsar la adopción de una u otra tecnología o modelo constructivo.



PARTE I:

CONSIDERACIONES GENERALES

Los resultados obtenidos de un estudio de ciclo de vida del sector de la construcción están representados por gráficos y tablas, que muestran el impacto del prototipo o del componente analizado. Estos resultados representan aportes muy valiosos, ya que permiten conocer cuáles son los materiales, procesos, proveedores o etapas del ciclo de vida del producto que más contribuye a un determinado impacto, como ser el potencial de cambio climático, o el consumo de recursos energéticos. A partir de esta indicación se facilita la toma de decisiones, por ejemplo acerca de:

- La sustitución de materiales.
- La modificación del diseño.
- La localización de proveedores alternativos.
- La identificación de medios de transporte más eficientes.
- La preferencia por una tecnología que produzca menos descartes.
- La instalación de tecnologías que permitan aprovechar fuentes energéticas menos impactantes.

En lo que sigue se mencionan los aspectos más relevantes para realizar este análisis y se presenta un ejemplo práctico de aplicación basado en resultados concretos alcanzados durante la ejecución del proyecto.



1. ¿QUÉ ASPECTOS HAY QUE TENER EN CUENTA?

Para realizar el análisis se debe tener en cuenta, en primer lugar, el alcance del estudio: cuáles etapas se deben considerar? Para un producto complejo de larga duración como el edificio, se divide su ciclo de vida en las siguientes etapas: la de producto (A1-A3), la de proceso de construcción (A4-A5), la de uso (B1-B7), la de fin de vida (C1-C4) y la de beneficios y cargas más allá del límite del sistema (D), como lo indicado en la Figura 1.

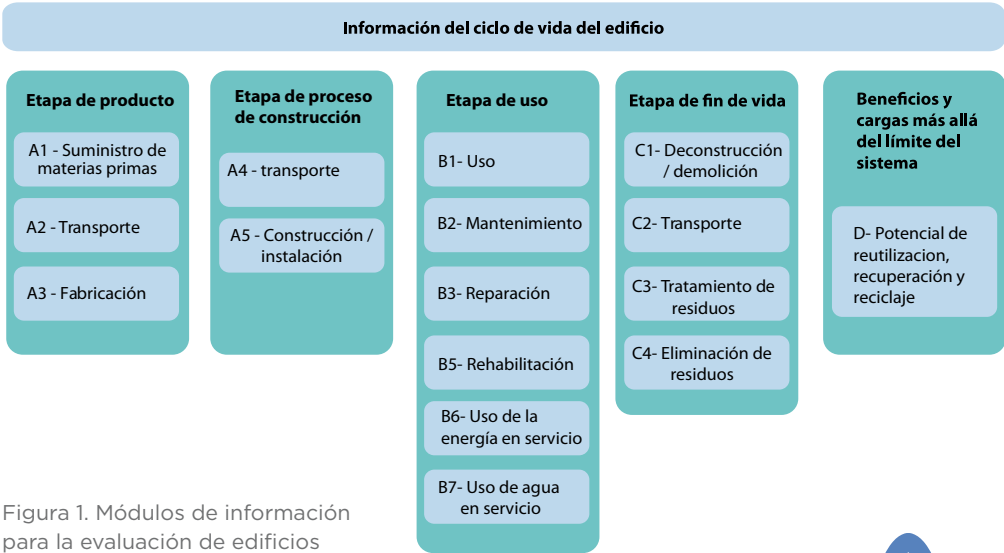
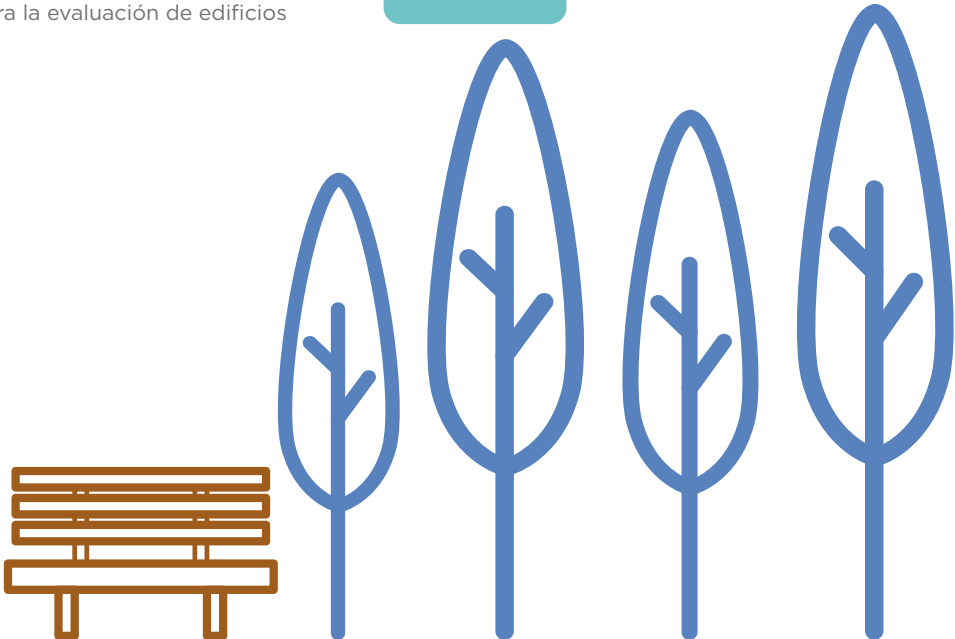


Figura 1. Módulos de información para la evaluación de edificios



Por la naturaleza de este proyecto, las etapas que han sido consideradas son:

Etapas de producto:

- A1: extracción y procesamiento de materia prima, y procesamiento de entrada de material secundario (por ejemplo, procesos de reciclaje).
- A2: transporte al fabricante.
- A3: fabricación.

Etapas del proceso de construcción:

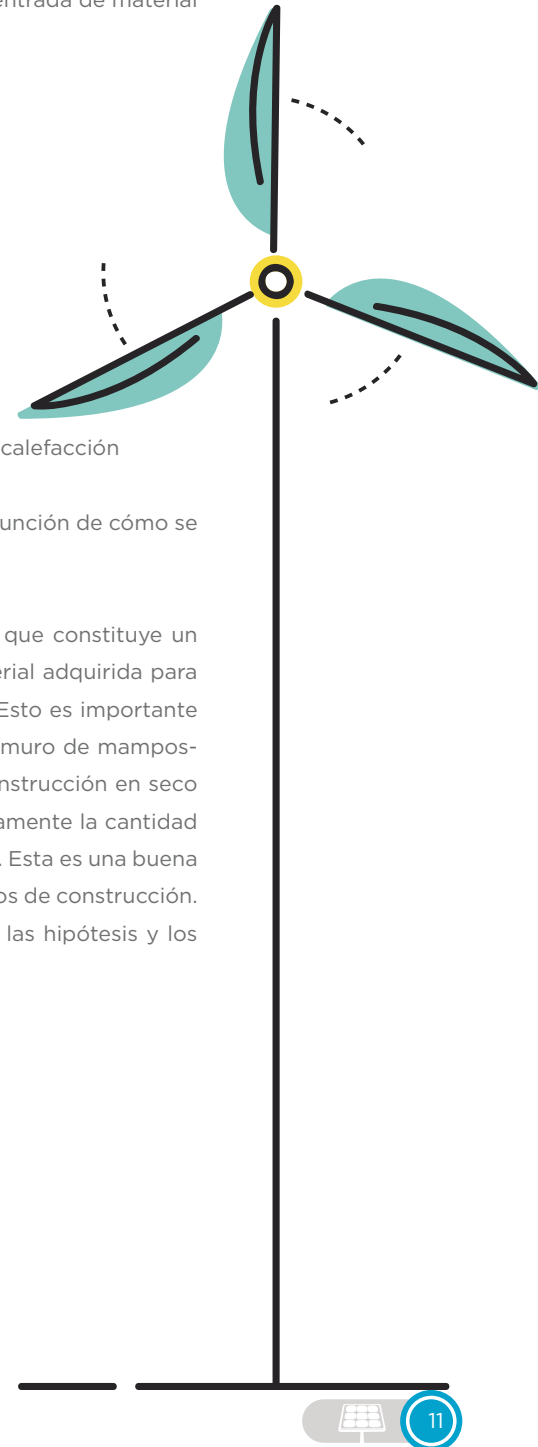
- A4: transporte al sitio de construcción.
- A5: instalación en el edificio.

Etapas de uso relacionada con la operación del edificio:

- B6: uso de energía operacional (por ejemplo, operación del sistema de calefacción y otros servicios).

Sobre estas etapas es que se pueden realizar análisis y extraer conclusiones, en función de cómo se brinda la información.

Por ejemplo, si en lugar de proveer información sobre la cantidad de material que constituye un elemento (por ejemplo, m² de mampostería), se suministra la cantidad de material adquirida para constituirlo, se podrá evaluar la cantidad de residuos generada, por diferencia. Esto es importante cuando se desean comparar tecnologías muy diferentes, como por ejemplo un muro de mampostería tradicional (que típicamente genera muchos residuos) con sistemas de construcción en seco (tipo Steel framing) que usualmente generan menos. Si se tiene en cuenta únicamente la cantidad de material efectivamente utilizada, esa ventaja no se percibiría en los resultados. Esta es una buena medida para los planes de mejora ambiental (PMA) de los residuos en los procesos de construcción. Otro aspecto importante al analizar los resultados, es conocer cuáles han sido las hipótesis y los datos sobre los cuales se ha trabajado.



En términos generales, la información de base que se utiliza se refiere a:

- Tipos y cantidades de materiales y productos involucrados.
- Origen de los materiales y componentes, y medios de transporte utilizados.
- Tipos y cantidades de energía consumida en la etapa de operación.
- Vida útil del edificio completo y de sus productos (de donde surgen los eventuales reemplazos, reparaciones, mantenimiento, etc.).

En términos específicos, en este proyecto, la información de base que se brindó para realizar los estudios incluyó:

- Dimensiones y especificaciones técnicas de planos de arquitectura, con indicación de los materiales.
- En muy pocos casos, indicaciones de proveedores de materiales y componentes, y medios de transporte utilizados.
- Tipos y cantidades de energía consumida en la etapa de operación para cada prototipo.

En base a esto, para llevar a cabo el estudio se realizaron distintas hipótesis que pueden servir del guía al lector:

- La mayoría de los estudios disponibles estiman un periodo operacional o de vida útil de 50 años, pero se han encontrado estudios que reducen este periodo a 20 años o lo extienden hasta 100 años. Para este estudio se ha considerado una vida útil de 50 años.
- No se contó con indicaciones sobre la vida útil de cada prototipo ni de sus componentes. Por este motivo no se han realizado consideraciones sobre eventuales reemplazos, reparaciones, mantenimiento, excepto para el caso de los dispositivos que aprovechan energía solar activa, como calefones solares y paneles fotovoltaicos.
- Para la estimación de los consumos y emisiones asociados con el transporte de los materiales y componentes, se ha supuesto que se cumple el corte obligatorio B10 con biodiesel. Se ha considerado además un tamaño de camión adecuado a la carga a transportar en bulto en función de la distancia a recorrer. Por ejemplo, el camión típico utilizado para el transporte de hierro de la construcción en larga distancia desde la fábrica hasta el distribuidor en una determinada provincia es diferente al que parte del corralón y provee hierro para una construcción individual.
- Para complementar los materiales y elementos que constituyen un componente (por ejemplo un muro), que no fueron descriptos en la información recibida, se hicieron consultas con profesionales de la construcción. Por ejemplo, cuando faltaron indicaciones de barreras de vapor, o soportes para paneles en techos o muros, o cantidades de materiales requeridos para instalar ventanas en muros.

Estos elementos (que están presentes de uno u otro modo en muchos estudios) deben tenerse en cuenta al analizar los resultados. Con mucha probabilidad, quien deba realizar un estudio de esta naturaleza, se encontrará con situaciones semejantes: contará con información limitada, y habrá que recurrir a consultas de bibliografía, o interpersonales, para poder realizar un estudio.

Otro aspecto que es importante que el lector esté advertido, es sobre la función de los elementos a comparar. En efecto, al hacer el análisis de ciclo de vida de un producto se establece una unidad a la cual referir los resultados, por ejemplo, 1 m² de superficie de piso. Esta unidad sirve luego para la comparación del impacto ambiental producido por distintos productos que cumplen la misma función: por ejemplo, el piso A produce una emisión de “x” kg de CO₂eq por m², mientras que el piso B



produce una cantidad mayor “z” kg CO₂eq. Esa unidad (el m² en el ejemplo) debe tener cuenta de la función de dichos productos, y de cómo esa función se cuantifica. Si se toma el caso de querer iluminar, y se quiere decidir entre alternativas como lámparas de LED o lámparas fluorescentes compactas, no se debe comparar el impacto de lámparas de igual potencia eléctrica (por ejemplo lámpara LED de 10 W contra lámpara de 10 W compacta), sino el impacto de lámparas que proveen igual potencia lumínica (por ejemplo lámpara LED que provea 840 lúmenes vs lámpara compacta que provea esa misma cantidad).

Algo similar ocurre con los componentes de una vivienda. Por ejemplo, al comparar un muro contra otro, lo natural es comparar el impacto producido por 1 m² de uno y otro tipo. Sin embargo, si el muro separa un ambiente climatizado de otro no climatizado, el muro cumple también una función aislante. Por lo tanto, excepto en los casos en que ambos muros tuvieran el mismo coeficiente de transmitancia térmica (medida del calor que fluye por unidad de tiempo y superficie a través del muro), la comparación entre el impacto de construir uno y otro muro constituye un resultado parcial. Debería considerarse, además, la cantidad de energía que cada uno va a ganar o perder durante el uso de la vivienda. Esto es importante porque un muro al que se le adicionó más aislante térmico, producirá más impacto durante su etapa de fabricación, pero menos durante su etapa de uso. Habrá que considerar ambas etapas para decidir cuál es el más conveniente. Como el lector puede apreciar, esta conveniencia no es absoluta: mientras más riguroso sea el clima, más conveniente será el muro aislado. Lo mismo ocurre con la comparación entre ventanas, puertas, techos, muros trombe, etc.

En síntesis, la decisión final sobre la conveniencia ambiental de un material de construcción o componente debe realizarse con atención, teniendo en cuenta la/s función/es que ese material o componente desempeña en el edificio. En este sistema complejo como es un edificio, un muro no es solamente un elemento de división de espacios, o de sostén, o de aislación térmica, sino todos ellos a la vez. Si se debe decidir entre colocar uno u otro tipo de muro, se debe asegurar que desempeñen todas esas funciones adecuadamente.

2. EJEMPLO PRÁCTICO DE APLICACIÓN

A continuación, se presenta el análisis de resultados de la comparación de una puerta de marco y hoja realizados en chapa doblada con una puerta con marco de chapa y hoja de madera maciza, con el objetivo de que el lector tenga noción de cómo realizar el análisis y qué conclusiones puede obtener.

El análisis se realiza considerando la etapa de fabricación, por lo que consideramos como Unidad Funcional (UF) 1 m² de superficie de puerta.

Se tuvieron en cuenta los procesos de producción del marco, de la hoja y de los accesorios (herrajes, bisagras, picaporte, etc.), el ensamble y el embalaje de las puertas, el transporte por carretera en diferentes fases de producción y la infraestructura.

En los diagramas de árbol (Figuras 2 y 3) pueden identificarse los procesos con mayor contribución al impacto sobre el calentamiento global para cada una de las puertas evaluadas. Estos gráficos son muy interesantes, ya que muestran la contribución de cada proceso al impacto global. Sin embargo, la óptica de ciclo de vida obliga a considerar una cantidad de procesos tan grande, que su representación gráfica no tendría cabida en un texto normal. Por eso se selecciona cuáles procesos se muestran: por ejemplo, todos los procesos que contribuyan en menos que el 5 % del total son dejados fuera de la representación. Por este motivo, en la siguiente figura se observa que en ambos casos el proceso crítico es la producción del acero necesario para fabricar la chapa, mientras que el impacto asociado a la madera de la hoja no se hace visible, ya que su aporte es inferior a ese porcentaje. Recién con la inclusión en el análisis de procesos de muy poca relevancia (que representan el 3 % o menos del impacto total) aparece la contribución de este material (Figura 4).

Otro aspecto que merece atención es el transporte de materiales. Los árboles muestran claramente que cada proceso de transporte en forma individual no representa una gran contribución al impacto total, pero su aporte conjunto es notable.

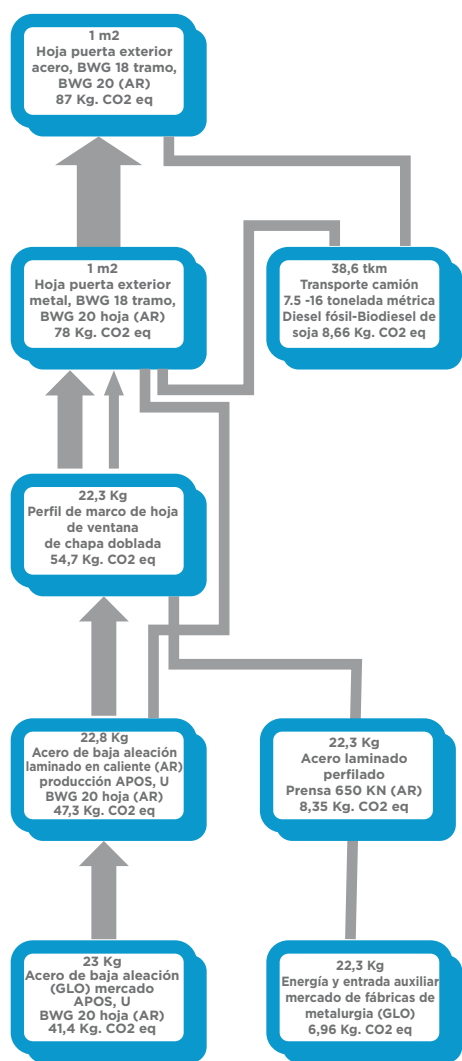


Figura 2. Gráfico de árbol que muestra el origen del impacto sobre el calentamiento global de la puerta de chapa doblada.

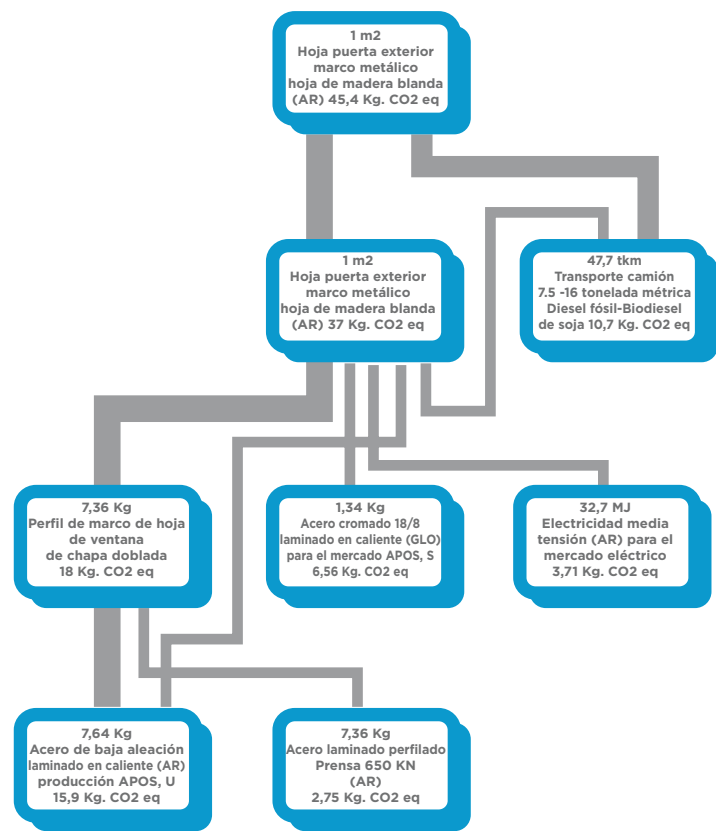


Figura 3. Gráfico de árbol que muestra el origen del impacto sobre el calentamiento global de la puerta de chapa con hoja de madera.

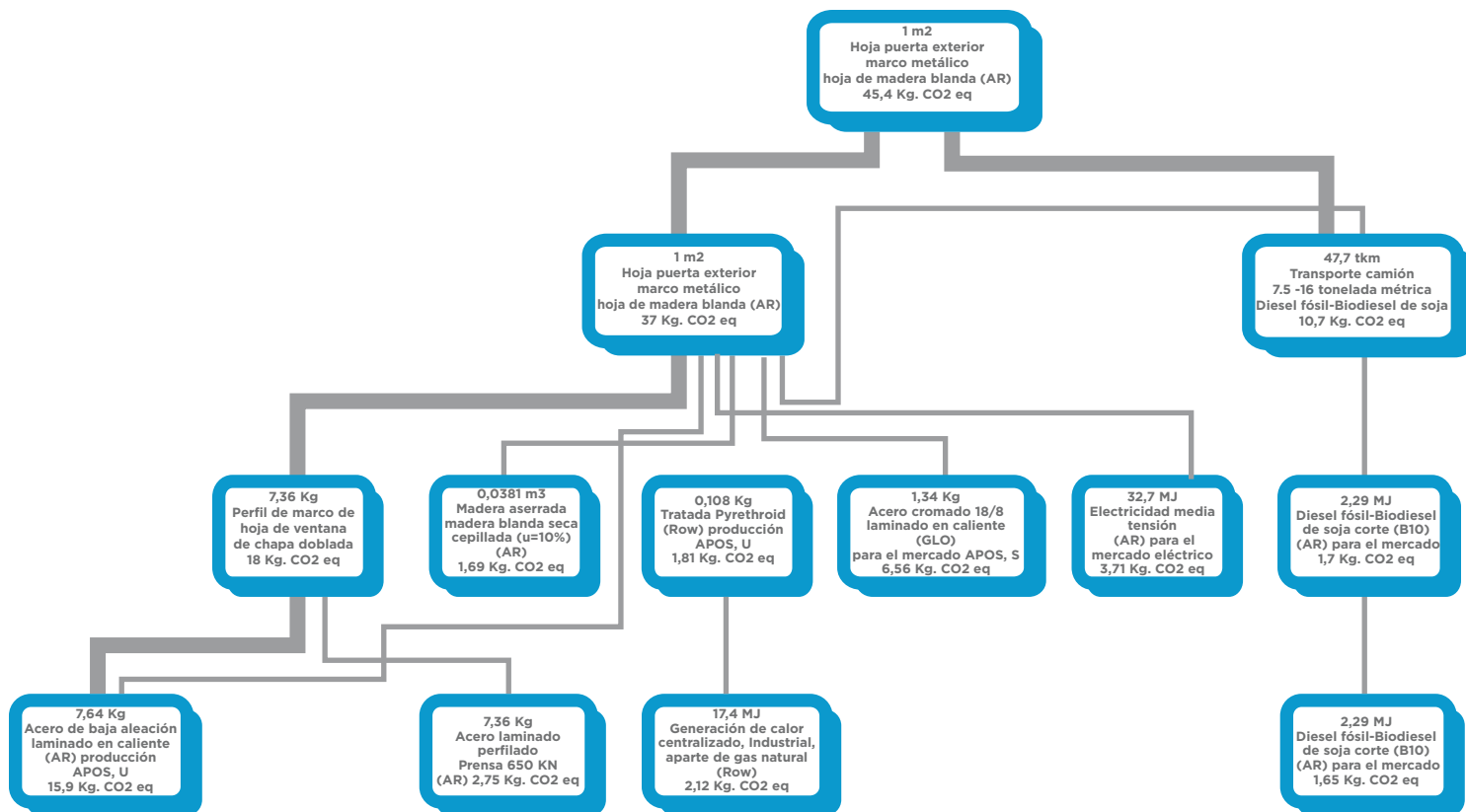


Figura 4. Gráfico de árbol que muestra el origen del impacto sobre el calentamiento global de la puerta de chapa con hoja de madera, incluyendo procesos con relevancia menor o igual al 3 % del total.

Al comparar las dos aberturas (Figura 5), se visualiza claramente que el impacto sobre el calentamiento global de la puerta con hoja de madera es 55 % menor que el de la puerta de chapa. Estos resultados posibilitan concluir que optar por una puerta con hoja de madera permite ahorrar 42 kg CO₂eq por m² de puerta puesta en obra.

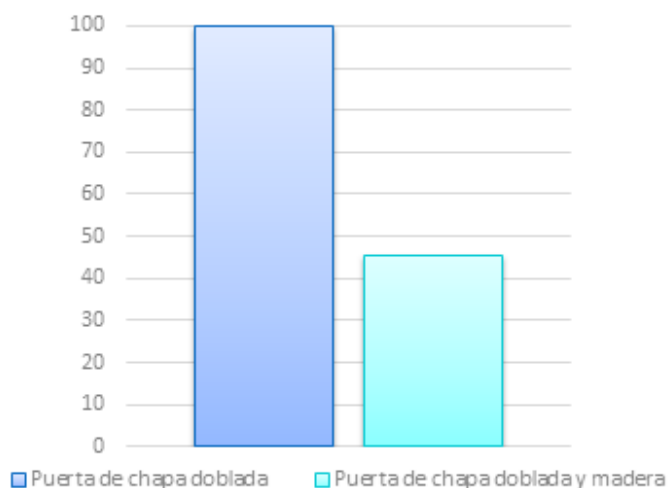


Figura 5. Comparación del impacto potencial sobre el calentamiento global asociado con la producción y puesta en obra de la puerta de chapa doblada y la puerta con marco de chapa y hoja de madera

Sin embargo, de la Figura 6 se desprende que la puerta con hoja de madera es la más impactante en cuanto al consumo acumulado de energía, entendido como la suma de toda la energía requerida en los distintos procesos y materiales utilizados para elaborar y transportar el componente, si se incluye la energía solar que la planta absorbió durante su crecimiento. A diferencia de lo que ocurre para el cambio climático, el proceso de producción de la madera adquiere ahora gran relevancia, siendo el principal responsable del consumo energético (48 % del total). En consecuencia, elegir una puerta con hoja de madera representa un despilfarro de 100 MJ de energía por m² de puerta puesta en obra.

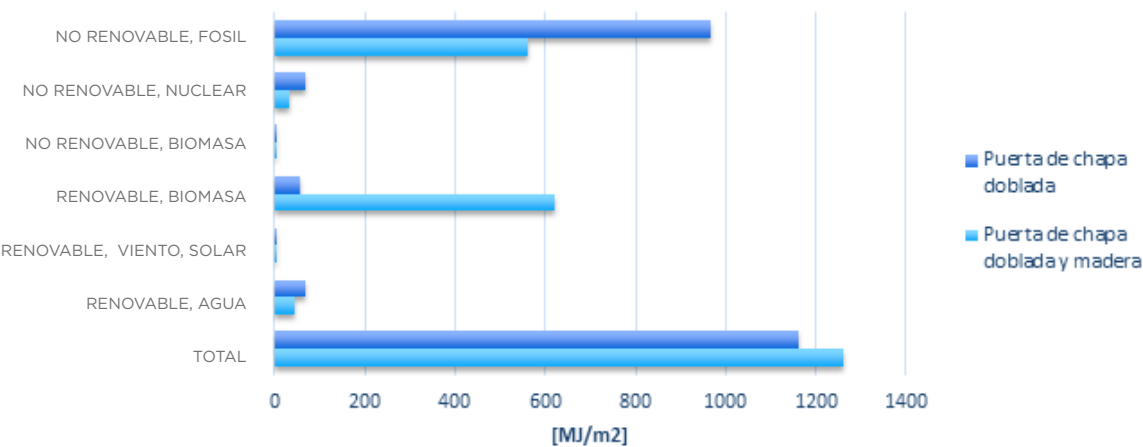


Figura 6. Comparación del impacto asociado al consumo de energía requerida para la producción y puesta en obra de la puerta de chapa doblada y la puerta con marco de chapa y hoja de madera.

Si ahora se discrimina esa cantidad total de energía consumida por tipo de fuente energética (por ejemplo, cuánto fue consumido de energía fósil no renovable, cuánto de origen nuclear, cuanto de biomasa renovable, etc), detectaremos que si bien la puerta de madera es la que más energía consumió, la mayor parte es de origen renovable, y el consumo de energía no renovable es pequeño comparado con la puerta de chapa. Por lo cual, si el objetivo es reducir la demanda energética de fuentes no renovables, la puerta con hoja de madera es otra vez la mejor opción: menos impacto sobre el cambio climático, y menos consumo de recursos energéticos no renovable.

Del análisis abordado se concluye que la elección de una u otra puerta dependerá del objetivo que se pretenda alcanzar en esta etapa del ciclo de vida, por ejemplo reducir la contribución al cambio climático global, reducir la dependencia de energía de fuentes fósiles, etc. Tal como se mencionó al inicio de este apartado, este análisis se refiere a la etapa de fabricación y puesta en el sitio de obra de las puertas, y no tienen en cuenta la influencia de sus propiedades a lo largo de la fase de uso. Contando con la información de la energía que se pierde a través del elemento, se puede complementar el análisis e incluir la etapa de uso también. En el caso de estas dos puertas, es claro que la madera tiene una conductividad térmica inferior a la chapa, por lo que será aún más conveniente desde los puntos de vista considerados.

PARTE II:

COMPORTAMIENTO AMBIENTAL DE LOS MATERIALES Y TECNOLOGÍAS DE LA CONSTRUCCIÓN

En esta sección se presentan análisis comparativos del comportamiento ambiental de distintos componentes y tecnologías utilizadas en los prototipos de vivienda involucrados en el proyecto. En todas las secciones siguientes, la descripción corresponde a la etapa de producción de esos materiales y tecnologías, exceptuando la sección 9, en donde se agrega la etapa de uso de los prototipos construidos con estos materiales y tecnologías.

3. VENTANAS

Se muestra a continuación los impactos originados durante la etapa de fabricación de diferentes tipos de ventanas. Estas son:

- Ventana de aluminio con hoja de abrir y doble vidriado (DVH).
- Ventana de aluminio con paño fijo y DVH.
- Ventana de aluminio, deslizante, con DVH.
- Ventana de aluminio, deslizante, con DVH, línea económica.
- Ventana de PVC, con hoja de abrir y/o paño fijo, con DVH.
- Ventana de PVC, deslizante, con DVH.
- Ventana de chapa doblada con hoja de abrir y DVH.
- Ventana de chapa doblada con paño fijo y DVH.
- Ventana de chapa doblada, deslizante, con DVH.

El análisis ha sido realizado considerando como UF 1 m² de superficie de ventana y teniendo en cuenta la producción de materiales y su transporte, los procesos de producción de marcos, vidrio y accesorios (fallebas, burletes, bisagras, etc.), el ensamble y el embalaje de las ventanas, y la infraestructura. La contribución al cambio climático varía entre 67,5 y 179,8 kg de CO₂eq por m² de ventana fabricada, dependiendo del tipo (Figura 7).



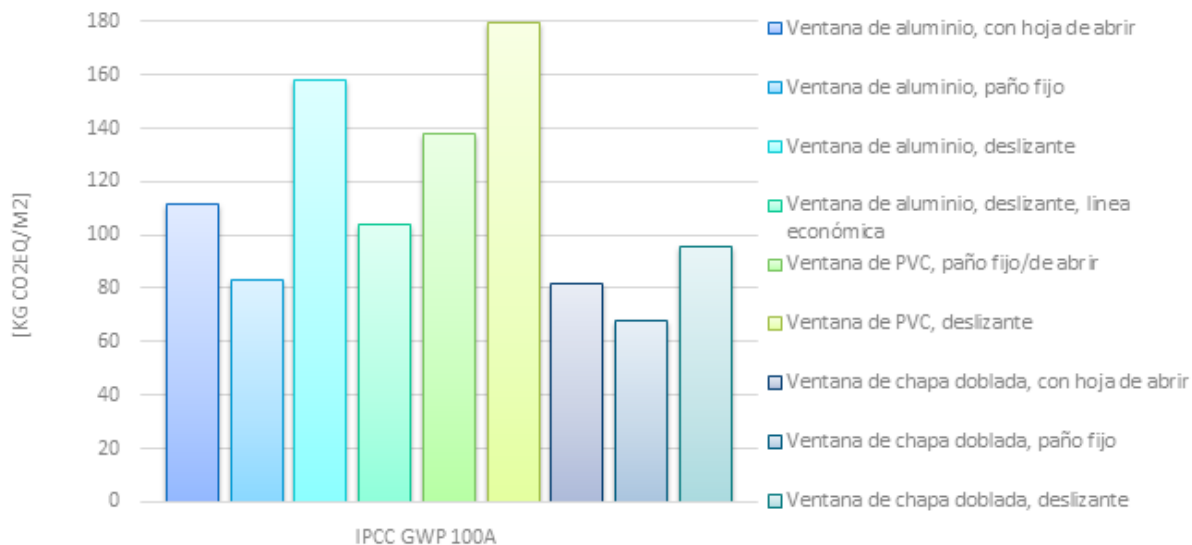


Figura 7. Comparación del impacto potencial sobre el calentamiento global asociado con la producción de diferentes tipos de ventana

Analizando por material, se observa que las de chapa doblada son en general las menos impactantes, seguidas de las ventanas de aluminio; mientras que las de PVC son las más contribuyentes al cambio climático. Se sabe que el impacto de la fabricación del PVC es significativamente menor que el del aluminio y el de la chapa: la producción de 1 kg de PVC contribuye con 2,0 kg de CO₂eq, mientras que la producción de 1 kg de aluminio lo hace con 9,4 kg de CO₂eq. No obstante, la cantidad de PVC utilizada para fabricar una ventana es mucho mayor que la cantidad requerida de aluminio y de chapa para producir ventanas equivalentes. Esto explica el elevado valor de impacto de las ventanas de PVC frente a las otras.

Al considerar la funcionalidad de las ventanas, se visualiza que las deslizantes son las que ocasionan mayor impacto. Esto se debe a que los perfiles que conforman el marco y la hoja de las ventanas fijas y de abrir son más livianos que las deslizantes. El aumento en la cantidad de materiales (PVC, aluminio o chapa) repercute en el valor del Potencial de calentamiento global, que es en promedio un 30 % mayor para las ventanas deslizantes que para las fijas y de abrir. La ventana deslizante de aluminio de la línea económica se acentúa como excepción a este patrón. Esta ventana se destaca por ser muy liviana, por lo cual el impacto asociado a su fabricación es 34 % menor que el de la ventana de aluminio deslizante de la línea común.

Del análisis realizado se deduce que optar por una ventana de aluminio en lugar de una de PVC significa una reducción del impacto sobre el cambio climático de 24 % si es de abrir, 66 % si es paño fijo, 14 % si es deslizante de la línea común y 73 % si es deslizante de la línea económica.

Así mismo, el uso de una ventana de chapa doblada en lugar de una de PVC representa disminuciones del impacto evaluado de 69 %, 105 % y 89 % dependiendo si es de abrir, fija o deslizante, respectivamente.

La Figura 8 muestra, en forma comparativa, la energía incorporada en los distintos tipos de ventana analizados. Es notable la contribución de las fuentes fósiles, la cual supera el 74 % en todos los casos.

El patrón de impacto es análogo al observado para el Potencial de calentamiento global, ya que las variaciones en la cantidad de material que conforma las ventanas repercuten en el valor de energía acumulada. De lo cual resulta que la ventana con menor energía incorporada es la de chapa doblada con paño fijo (con 890 MJ/m²), mientras que la que requiere mayor cantidad de energía es la deslizante de PVC (con 3.378 MJ/m²).

Considerando esta categoría de impacto, elegir una ventana de aluminio en lugar de una de PVC representa ahorros energéticos de entre 31 % y 55 %, dependiendo el tipo; mientras que optar por una ventana de chapa doblada en lugar de una de PVC significa ahorros de energía que varían entre el 58 % y el 64 %.

Es importante considerar que los resultados expuestos en las Figuras 7 y 8 representan únicamente los impactos asociados a la fabricación de las ventanas, y no tienen en cuenta la influencia de sus propiedades técnicas a lo largo de la fase de uso.

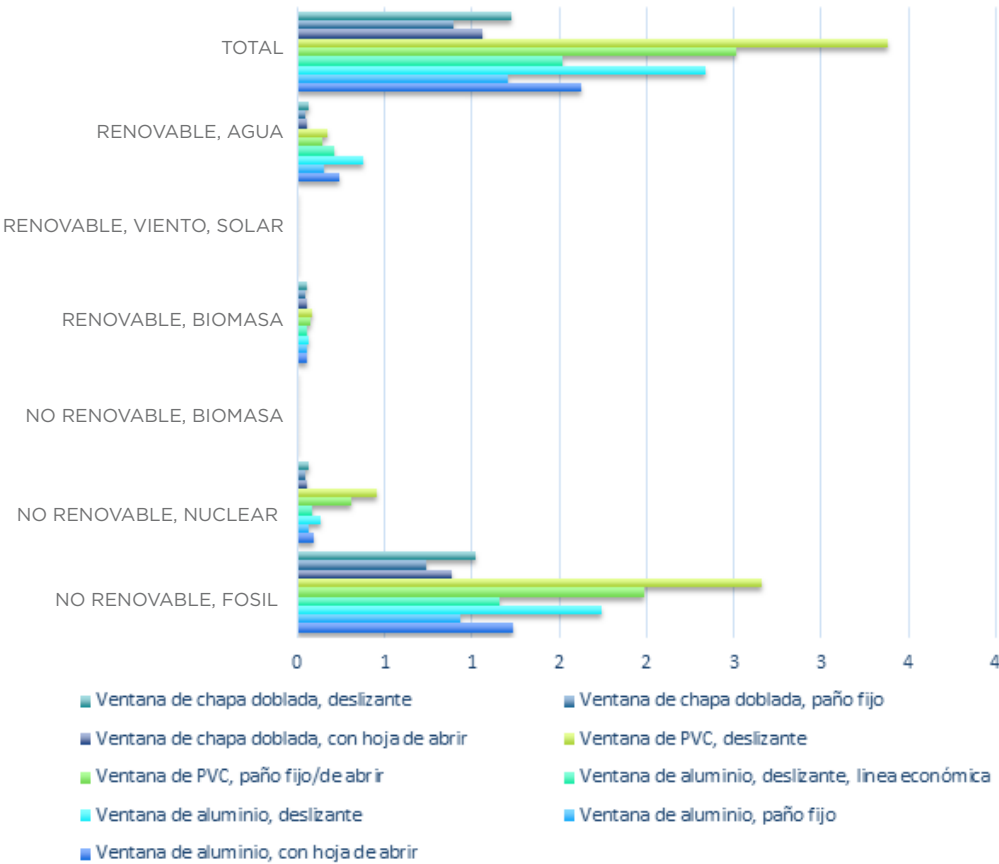


Figura 8. Comparación del impacto asociado al consumo de energía requerida para la producción de diferentes tipos de ventana.

4. PUERTAS EXTERIORES

En lo que sigue se presenta el análisis de impactos asociados a la etapa de fabricación de puertas exteriores de distinto tipo:

- Puerta de PVC.
- Puerta de chapa doblada.
- Puerta de chapa doblada con vidrio.
- Puerta de madera dura
- Puerta con marco de madera dura y hoja de madera blanda.
- Puerta con marco de chapa y hoja de madera blanda.
- Puerta con marco de chapa y hoja de madera blanda, estructura panal de abeja.

Hacia el final del apartado se muestra cómo varían los resultados de impacto de la puerta de chapa doblada al ser instalada en las viviendas sociales de distintas provincias.

En todos los casos analizados se ha considerado como UF 1 m² de superficie de puerta. Se ha tenido en cuenta la producción de materiales y su transporte, los procesos de producción de marcos, hoja y accesorios (herrajes, picaporte, bisagras, etc.), el ensamble y el embalaje de las puertas, y la infraestructura.

La contribución al cambio climático de las puertas evaluadas varía entre 19,5 y 95,6 kg de CO₂eq/m², dependiendo de la estructura y de los materiales que las conforman (Figura 9).

La puerta de PVC es la que mas impacta, seguida muy de cerca de la puerta de chapa doblada. Sin embargo, cuando la puerta de chapa tiene vidrio el impacto disminuye cerca del 25 % respecto de la que no lo tiene. Esto se debe a que la fabricación de 1 m² de vidrio contribuye con 12,6 Kg de CO₂eq, mientras que 1 m² de chapa doblada lo hace con 69,6 Kg CO₂eq. Por tanto, al sustituir parte de la chapa por vidrio, el impacto total de la puerta se reduce.

Las puertas de madera maciza son las menos contribuyentes al cambio climático global. Esto es así porque al total de emisiones de GEI liberados a la atmósfera durante todo el ciclo de vida de las puertas se le resta la captura de CO₂ que ocurre por fotosíntesis, durante la etapa de crecimiento de la plantación forestal que da origen a la madera.



Lógicamente, las puertas que tienen marco de chapa y hoja de madera producen un impacto con un valor intermedio entre las puertas completamente de chapa y las completamente de madera.

La puerta con estructura tipo panal de abeja tiene asociado un impacto levemente inferior al de la puerta con marco de chapa y hoja de madera maciza. Esto es así porque reduce considerablemente la cantidad de madera requerida para fabricar la hoja, ya que está compuesta por material celulósico (de densidad: 200 g/m²) recubierto en cada lado por una lámina de madera enchapada de tan sólo 4 mm de espesor.

De lo expuesto se deduce que:

- Elegir una puerta de madera en lugar de una puerta de chapa o de PVC permite reducir en 78 % el impacto sobre el cambio climático.
- Elegir una puerta con marco de chapa y hoja de madera en lugar de una completamente de madera significa una reducción del 43 % del impacto.
- Elegir puertas de chapa vidriadas en lugar de puertas con hoja sin vidrio ahorra un 25 % de emisiones de CO₂ equivalentes.

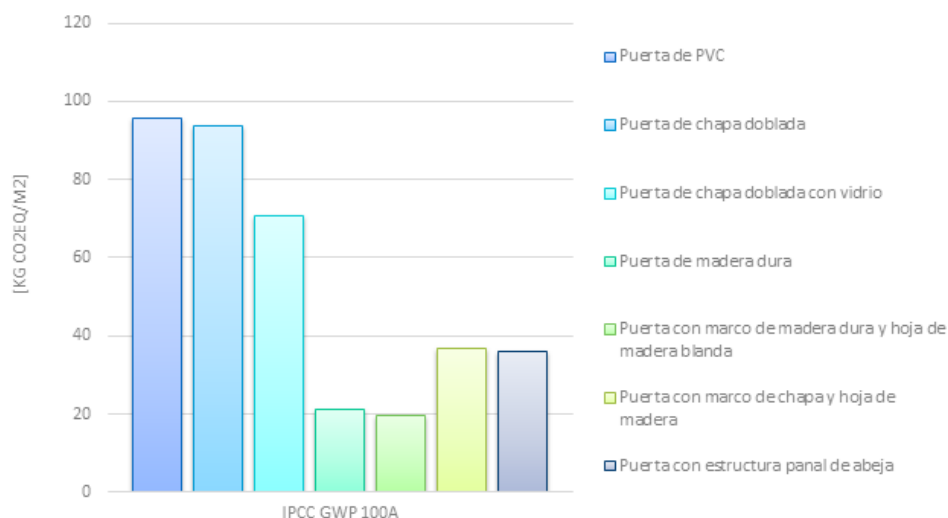


Figura 9. Comparación del impacto potencial sobre el calentamiento global asociado con la producción de diferentes tipos de puertas exteriores.

En la Figura 10 se muestra un análisis comparativo de la energía incorporada en los distintos tipos de puertas, resultando que la de PVC es claramente la más demandante, con 2.136 MJ/m².

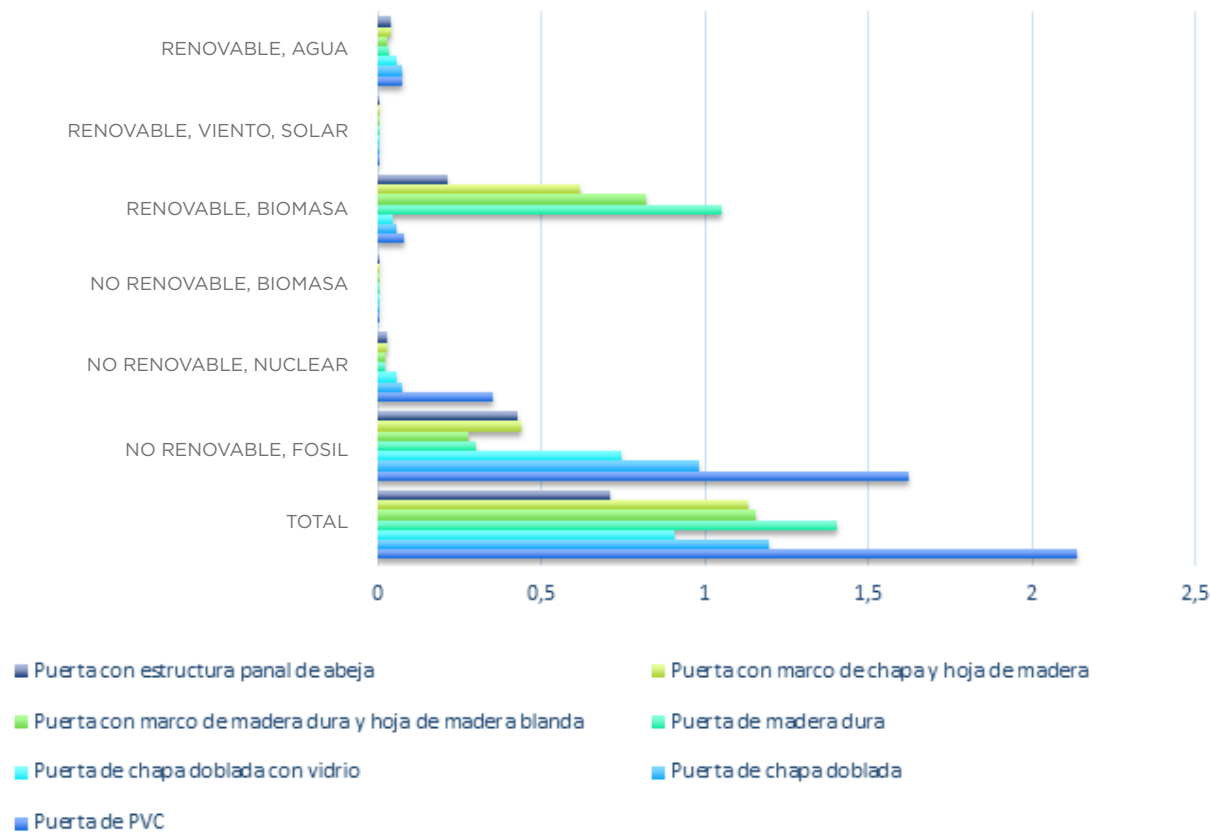


Figura 10. Comparación del impacto asociado al consumo de energía requerida para la producción de diferentes tipos de puertas exteriores.

En esta figura se observa algo similar a lo analizado para la Figura 6: la puerta de madera es de las que más energía requieren para su fabricación (la segunda en importancia). Para conocer más detalles sobre ese contenido energético total, es que se desagregan los distintos tipos de energía que están comprendidos en ese valor. En el caso de los componentes de madera (o con elementos de madera) tienen energía incorporada asociada a esa biomasa, con la posibilidad de que sea aprovechada, por ejemplo, una vez finalizada la vida útil de dicho componente.

La puerta de chapa doblada ocupa el tercer lugar, con un consumo energético de 1.193 MJ/m². La incorporación del vidrio reduce un 24 % este consumo.

La puerta de estructura tipo panal de abeja requiere menos energía que las otras, solamente el 33 % de la energía requerida por la puerta de PVC. En la Figura 11 se muestra la variación porcentual del consumo de energía y del impacto sobre el calentamiento global de la puerta de chapa doblada, considerando que la fábrica se localiza en CABA (Ciudad Autónoma de Buenos Aires) y que se utilizará en viviendas sociales de distintas provincias.

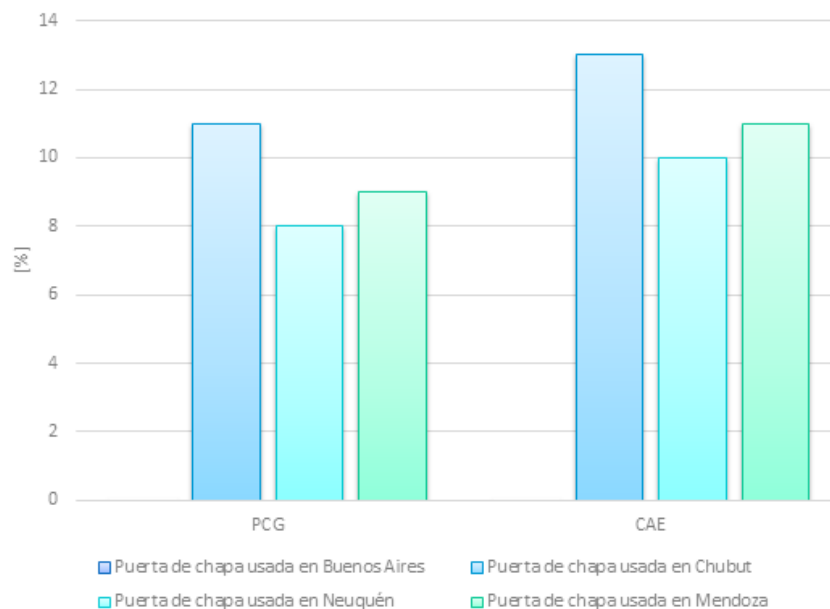


Figura 11. Variación porcentual del impacto sobre el calentamiento global (PCG) y del consumo acumulado de energía (CAE) para la puerta de chapa doblada utilizada en viviendas sociales de diferentes provincias.

Se observa que los valores de energía incorporada varían entre 10 % y 13 % en relación a la puerta instalada en Buenos Aires, mientras que el potencial de calentamiento global fluctúa entre 8 % y 11 %. Lógicamente, estas variaciones están asociadas directamente con la distancia de transporte entre la fábrica de aberturas y el sitio de construcción de las viviendas. De esto se desprende que la búsqueda de fabricantes cercanos al sitio de obra puede ser una clara estrategia para reducir los impactos calculados.

5. MUROS EXTERIORES

A continuación, se presentan los resultados de impacto obtenidos para distintos tipos de muro exterior, utilizando como UF 1 m² de superficie de muro.

En primer lugar se compara un muro de mampostería tradicional de ladrillo hueco con un muro de hormigón celular. Posteriormente se realiza el análisis de un muro de mampostería tradicional de ladrillo hueco frente a un muro seco de paneles OSB.

En ambos casos se han considerado los procesos de producción de materiales y su transporte, y la construcción y puesta en obra de los muros.

Muro de mampostería tradicional de ladrillo hueco

VS

Muro de hormigón celular

La composición de estos muros es la siguiente:

Materiales del muro de mampostería tradicional de ladrillo hueco

Material	Características
Ladrillo hueco	Dimensiones 18x18x25
Mortero de asiento 1:5	Espesor: 1,5 cm
Revoque exterior de yeso monocapa	Espesor: 1,5 cm
Placa EPS	Dens: 20kg/m ³ . Espesor: 0,05m
Base coat	Espesor: 2mm
Malla fibra de vidrio	Peso: 0,12 kg/m ²
Revoque interior yeso monocapa	Espesor: 1,5 cm
Base coat	Espesor: 2mm
Pintura látex	2 manos
Pintura acrílica	2 manos

Materiales del muro de hormigón celular

Material	Características
Ladrillo de hormigón celular	20 cm de espesor
Mortero de hormigón celular	6,25 kg/m ²
Revoque interior monocapa	Espesor 1cm
Pintura látex	2 manos
Revoque exterior 3 en 1	Espesor 1cm
Pintura acrílica	2 manos

La Figura 12 compara el impacto potencial del calentamiento global producido por la construcción de ambos muros, que resulta de 86,4 kg CO₂eq/m² para el muro de mampostería tradicional, mientras que el de hormigón celular produce un impacto 44,3 % mayor, alcanzando 155 kg CO₂eq/m².

El análisis muestra detecta que en el muro de hormigón celular, el proceso crítico es la producción del cemento que conforma los bloques y los morteros; mientras que para el muro de mampostería tradicional es la fabricación de los ladrillos.

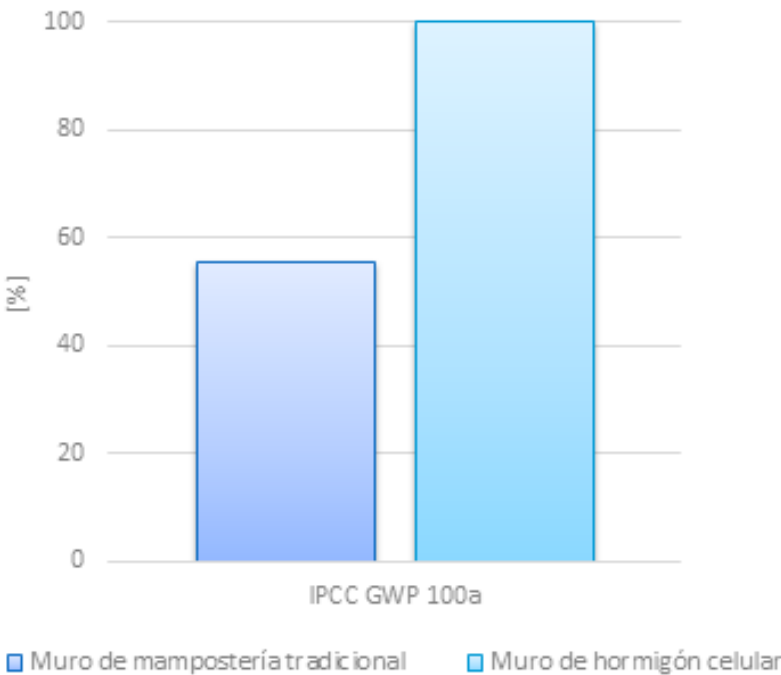


Figura 12. Comparación del impacto potencial sobre el calentamiento global asociado con la construcción de un muro de mampostería tradicional y un muro de hormigón celular.

La Figura 13 muestra, en forma comparativa, la energía incorporada en ambos muros. El muro de hormigón celular presenta un contenido energético de 1.460 MJ/m², un 24 % superior que el de mampostería tradicional que es de 1.180 MJ/m². En ambos casos, la mayor parte de la energía consumida (aproximadamente el 90 %) es de origen fósil.

Así mismo, el muro de hormigón celular involucra un mayor consumo de energía de biomasa, causado por el uso del corte B10 (combustible con 90% de diesel fósil y 10% de biodiesel de soja) en los camiones que transportan materiales desde los fabricantes hasta los distribuidores y posteriormente hasta el sitio de obra. Por lo tanto, se remarca la necesidad de buscar alternativas de provisión de materiales regionales para disminuir el impacto asociado al transporte.

Es importante notar que las Figuras 11 y 12 muestran únicamente los impactos relativos a la producción, transporte y utilización de los materiales, sin tomar en consideración la influencia del comportamiento de los mismos a lo largo de la fase de uso, donde podrían reportarse otros beneficios.

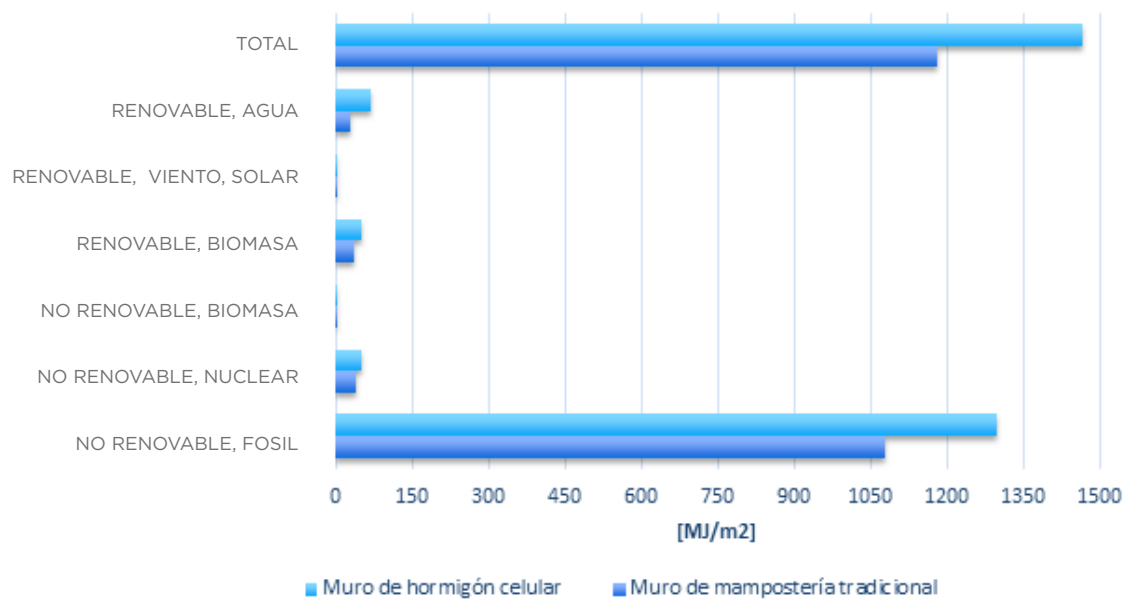


Figura 13. Comparación del impacto asociado al consumo de energía requerida para la construcción de un muro de mampostería tradicional y un muro de hormigón celular.

Muro de mampostería tradicional de ladrillo macizo

VS

Muro de mampostería tradicional con mejoras en la aislación térmica

VS

Muro seco de placas OSB

Se presenta a continuación el análisis de los impactos producidos por la construcción de un muro exterior de ladrillos macizos, un muro de similares características que el anterior con incorporación de una capa de aislación térmica de EPS (poliestireno expandido) y un muro de construcción en seco compuesto por placas de OSB (Oriented Strand Board), placas de EPS y lana de vidrio.

La composición de estos muros es la siguiente:

Materiales del muro de ladrillos macizos considerado:

Material	Características
Ladrillón	5,3 Kg/ladrillón
Mortero (adhesivo de ladrillones)	1,5 cm de junta horizontal y vertical
Revoque exterior grueso a la cal	Espesor: 0,025m
Revoque interior grueso a la cal	Espesor: 0,025m
Enlucido de yeso	Espesor: 0,005m
Pintura látex	2 manos

Composición de muro de ladrillos macizos con una capa adicional de EPS considerado:

Material	Características
Ladrillo	4,6 Kg/ladrillo
Mortero Revoque exterior grueso a la cal	Espesor: 0,025m
EPS	Dens: 20kg/cm ³ . Espesor: 0,045
Mortero adhesivo	1,5 cm de junta horizontal y vertical
Base coat	Espesor: 0,003 m
Malla de fibra de vidrio	0,12 kg/m ² . Espesor estandar
Revestimiento acrílico	2 manos
Base coat	Espesor: 0,003 m

Composición de muro seco de placas OSB

Material	Características
Base coat sobre malla	Peso: 2,35 kg/m ² . Espesor: 0,003 m
Malla de fibra de vidrio	Peso: 0,12 kg/m ² . Espesor: 0,003 m
Placa de EPS	Densidad: 20 kg/m ³ . Espesor: 0,02m
Placa de OSB	Densidad: 640 kg/m ³ . Espesor: 0,01 m
Placa de EPS	Dens: 20kg/cm ³ . Espesor: 5cm
Placa Durlock	Peso: 6.5-9 kg/m ² . Espesor: 0,09 m

La Figura 14 muestra una comparación del impacto potencial sobre el calentamiento global producido por la construcción de estos muros. Los resultados encontrados son 68,2 kg de CO₂eq por m² de muro de ladrillo macizo, 77,4 kg de CO₂eq por m² de muro de ladrillo macizo con aislamiento térmico, y 55,4 kg de CO₂eq por m² de muro seco.

Esto revela que los muros de mampostería tradicional son los mayores contribuyentes al cambio climático global, y que el muro que incorpora la capa de aislación térmica, eleva el impacto un 12 % en relación al muro sin aislación. Adoptar el muro de construcción en seco significa una reducción del impacto de 19 % y 28 %, en relación a los muros de mampostería sin y con placas de EPS, respectivamente.

La elaboración de revoques y la fabricación de los ladrillos macizos son los procesos críticos para el muro de mampostería tradicional, mientras que la producción de la base coat utilizada como adhesivo es el mayor contribuyente en los dos muros que incorporan placas de EPS.

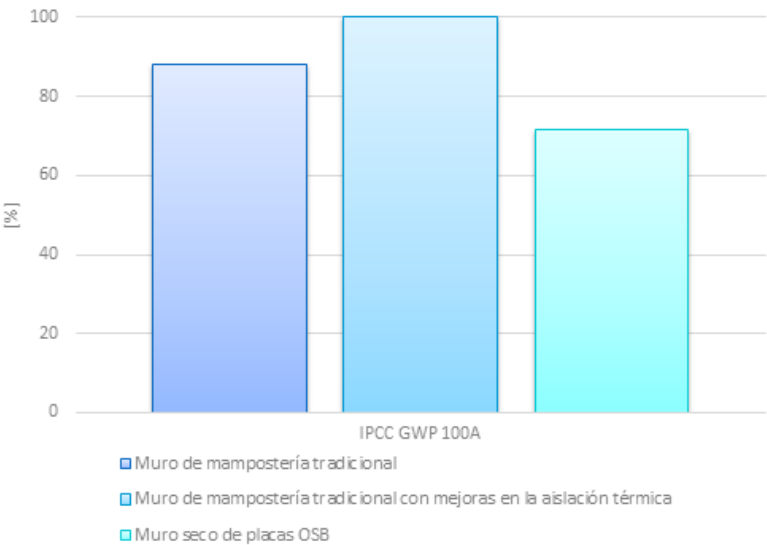


Figura 14. Comparación del impacto potencial sobre el calentamiento global asociado con la construcción de un muro de ladrillos macizos, un muro de ladrillos macizos con una capa adicional de EPS y un muro seco de placas OSB.

La Figura 15 muestra, en forma comparativa, la energía incorporada en los distintos muros analizados en este apartado. Similar a lo que ocurre para el cambio climático, el muro con mayor cantidad de energía incorporada es el de ladrillo y placas de EPS (2.710 MJ/m²); mientras que el que requiere menor cantidad de energía es el seco (1.001 MJ/m²).

Se observa que los muros de mampostería tradicional presentan un elevado consumo de energía proveniente de biomasa, como consecuencia del uso de leña para la cocción de los ladrillos (proceso artesanal). Por su parte, el muro seco exhibe mayor consumo de energía de fuentes no renovables, tales como combustibles fósiles y energía nuclear. En este caso optar por el muro de construcción en seco en lugar de los muros de mampostería significa consumir un 60 % menos de energía durante las fases de producción y transporte de los materiales, y no toman en consideración la influencia del comportamiento de los mismos a lo largo de la fase de uso.

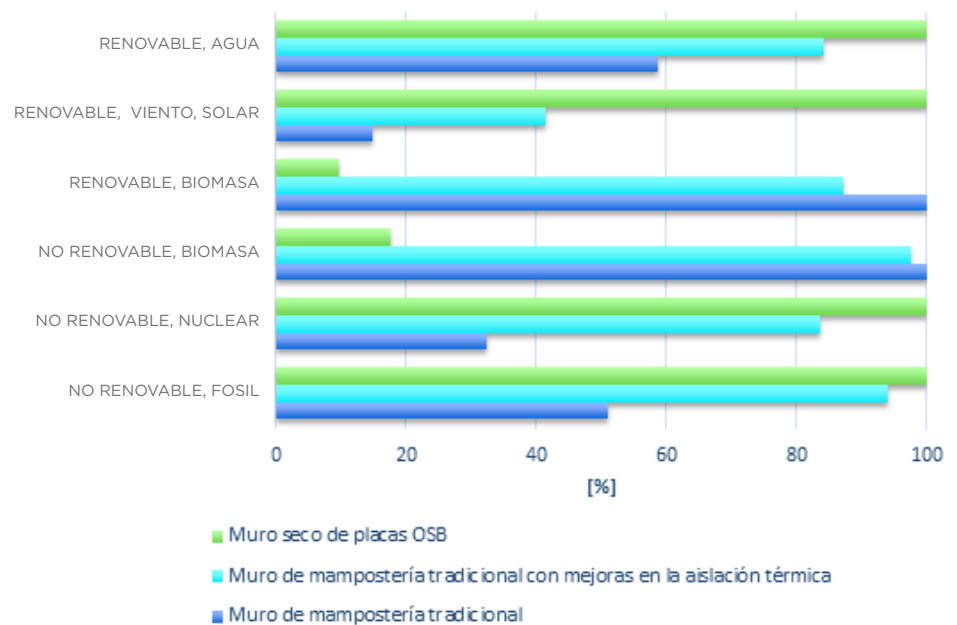


Figura 15. Comparación del impacto asociado al consumo de energía requerida para la construcción de un muro de ladrillos macizos, un muro de ladrillos macizos con una capa adicional de EPS y un muro seco de placas OSB.

6. TECHOS

En este apartado, se presentan los resultados de impacto obtenidos para distintos tipos de techos, utilizando como UF 1 m² de superficie de techo puesto en obra.

En primer lugar se compara un techo de losa cerámica, un techo de chapa + paneles PIR (poliisocianurato), y un techo seco de placa OSB. Luego se realiza el análisis de techos de losa maciza con y sin tejas, y techos de panel monolítico estructural con y sin tejas. Finalmente, se compara un techo de chapa con cielorraso de yeso con un techo de chapa con cielorraso de madera machihembrada.

En todos los casos se han considerado los procesos de producción de materiales y su transporte, y la construcción y puesta en obra de los techos.



En lo que sigue se expone un análisis de los impactos producidos por la construcción de un techo de losa cerámica alivianada y placas de EPS, un techo con cubierta de chapa y panel de espuma PIR, y un techo de construcción en seco compuesto por placas OSB y placas de EPS.

A continuación se brinda una descripción de la composición de cada uno de estos techos.

Techo de losa cerámica

Material	Características
Pintura asfáltica	Dos manos
Membrana asfáltica c/aluminio	Espesor: 0,004 m
Viguetas pretensadas	Serie 2
Losetas	Altura: 0,12 m
Malla metálica	Ø 6 cada 25cm por 25cm
Hormigón armado	H-17. Espesor: 0,05 m
Pintura asfáltica	Dos manos
Membrana asfáltica s/aluminio	Espesor: 0,003 m
Placa EPS	Densidad: 20 kg/m ³ . Espesor: 0,05 m
Carpeta concreto	Capa: cemento-arena 1:3. Espesor: 0,04 m
Salpicado de concreto	Cielorraso: revoque grueso 1:4. Espesor: 0,005m
Enlucido de yeso	Cielorraso: Espesor: 0,002m

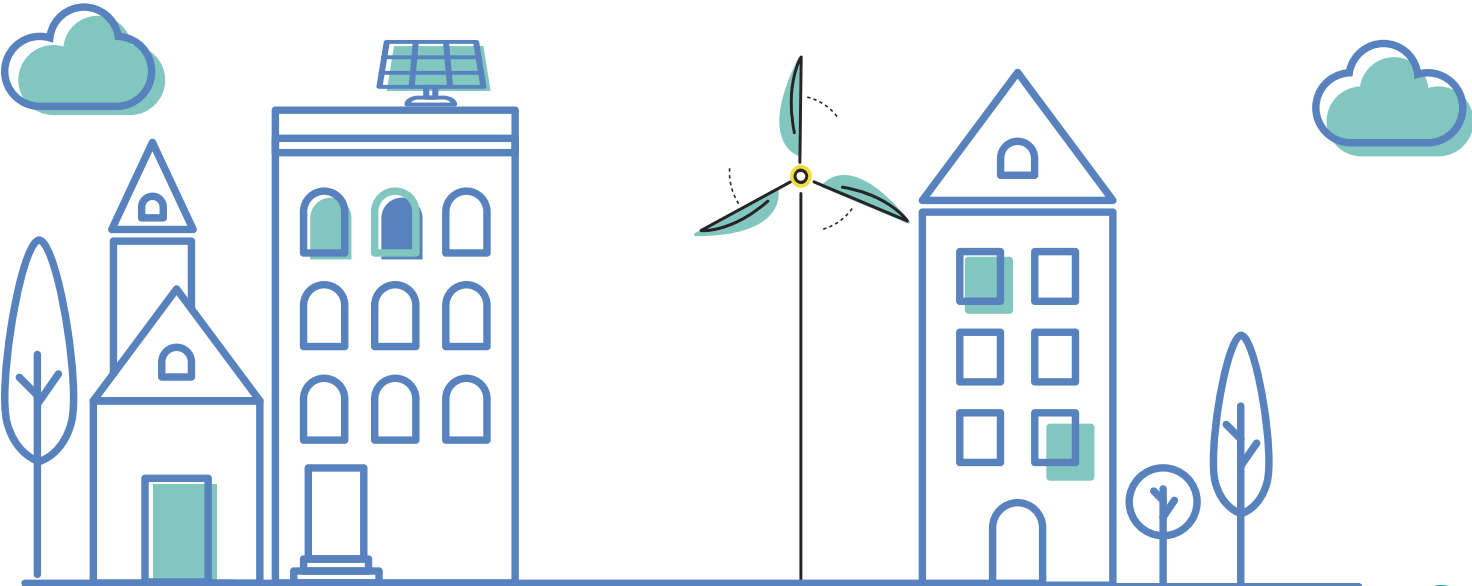
Techo de chapa y paneles PIR (poliisocianurato)

Material	Características
Chapa conformada trapezoidal	Peso: 7.22kg/m ² de chapa prepintada. Espesor: 0,0007m
Panel espuma PIR	Densidad: 40 kg/m ³ . Espesor: 0,08 m
Chapa conformada nervada	Peso: 7.22kg/m ² de chapa prepintada. Espesor: 0,0007m
Cielorraso placa de yeso	Peso: 8-12,5 kg/m ² . Espesor: 12,5mm
Material soporte	Correas PGC de 100 x 50 x 15 x 2. Clavaderas Perfil Omega de 70 x 28 x 13 x 0.5



Techo seco de placas OSB

Material	Características
Pintura asfáltica	Dos manos
Membrana asfáltica c/aluminio	Espesor: 0,004 m
Mortero de pendiente alivianado con copos de poliestireno expandido (EPS)	Espesor: 0,05 m
Placa de EPS	Densidad: 20 kg/m ³ . Espesor: 0,02m
Placa de OSB	Densidad: 640 kg/m ³ . Espesor: 0,018 m
Placa de EPS	Densidad: 20 kg/m ³ . Espesor: 0,09m
Base coat (como adhesivo)	Espesor: 0,003 m
Cielorraso placa de yeso	Peso: 8-12.5 kg/m ² . Espesor: 12,5mm
Material soporte (estructura)	Correas PGC de 100 x 50 x 15 x 2 Clavaderas Perfiles Omega de 70 x 28 x 13 x 0.5



Los resultados del impacto potencial sobre el calentamiento global asociado a cada uno de estos techos son: 74 kg de CO₂eq por m² de techo de losa cerámica, 125 kg de CO₂eq por m² de techo seco y 138 kg de CO₂eq por m² de techo de chapa y paneles PIR (Figura 16).

La producción de la chapa es un gran contribuyente a este impacto, especialmente por el proceso de galvanizado, como también lo es la producción y galvanizado de los perfiles metálicos que conforman la estructura del techo seco.

Se concluye que optar por un techo de losa cerámica reduce un 46 % el impacto sobre el cambio climático en comparación con un techo de chapa y paneles PIR. Así mismo, elegir el techo de losa cerámica en lugar del techo seco representa una disminución de aproximadamente 41 % en el valor del impacto calculado.

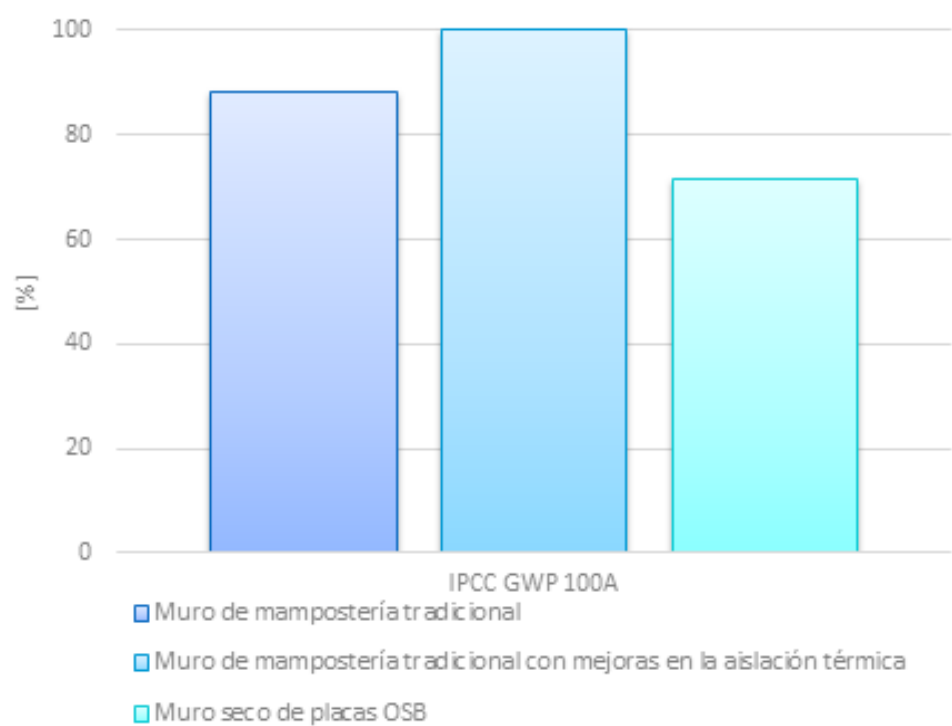


Figura 16. Comparación del impacto PCG asociado con la construcción de un techo de losa cerámica, un techo de chapa y paneles PIR y un techo seco de placas OSB.

La Figura 17 muestra, en forma comparativa, la energía incorporada en los tres techos analizados.

El techo con menor cantidad de energía incorporada es el techo de losa cerámica (789 MJ/m²); mientras que el que requiere mayor cantidad de energía es el techo de chapa y panel PIR (1.870 MJ/m²), aunque con un aporte muy cercano se ubica el techo seco (1.723 MJ/m²). Este patrón es similar al observado para el Potencial de calentamiento global.

Teniendo en cuenta la etapa de construcción y puesta en obra, adoptar el techo de chapa y panel PIR representa un incremento en el consumo energético de 137 % en relación al techo de losa cerámica. Así mismo, el uso del techo seco en lugar del techo de losa cerámica significa un aumento de 118 % en el consumo de energía.

Se destaca que los techos que emplean chapa y perfiles metálicos presentan un elevado consumo de energía proveniente de fuentes fósiles (no renovables). Esto es consecuencia de que los procesos de producción de los mismos son electro-intensivos y las fuentes no renovables de energía son las más relevantes en la matriz eléctrica argentina.

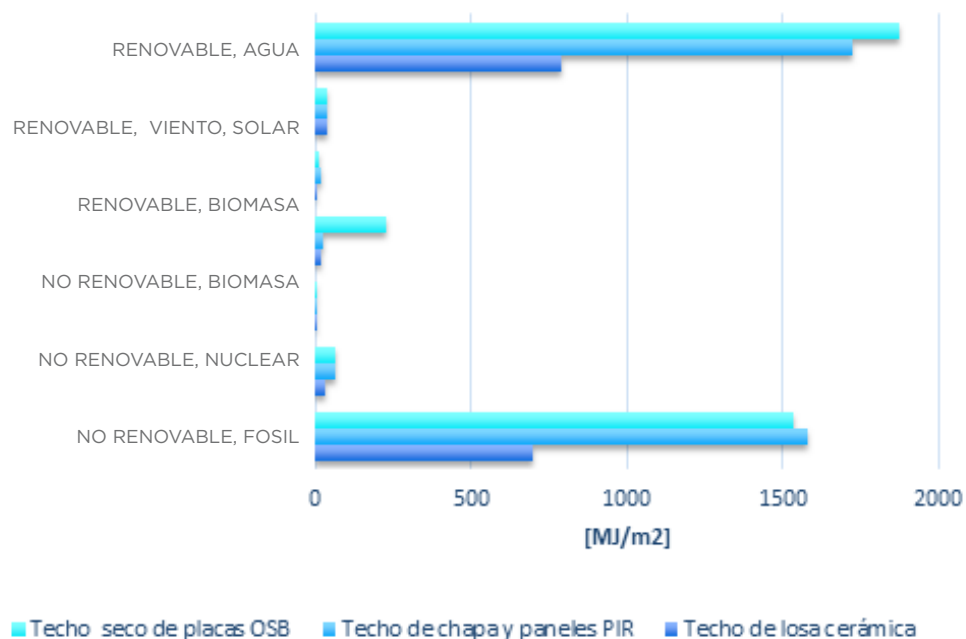


Figura 17. Comparación del impacto asociado al consumo de energía requerida para la construcción de un techo de losa cerámica, un techo de chapa y paneles PIR y un techo seco de placas OSB.

Techo de losa maciza

VS

Techo de panel monolítico estructural

En este apartado se presenta un análisis de los impactos producidos por la construcción de un techo conformado por losa maciza con aislación térmica de EPS y membrana asfáltica y un techo de panel monolítico estructural. En este último se analiza además la influencia de dos tipos de cubierta: membrana asfáltica y tejas cerámicas tipo francesa.

A continuación, se presenta la composición por capas de cada uno de estos techos.

Composición: un techo conformado por losa maciza con aislación térmica de EPS y membrana asfáltica





Composición: techo de panel monolítico estructural

Material		Características
Pintura asfáltica	▶	Dos manos (para pegar membrana y placa de EPS)
Membrana asfáltica c/aluminio	▶	Espesor: 0,004 m
Carpeta de nivelación para escurrimiento:	▶	Hormigón alivianado con copos de poliestireno expandido. Espesor: 0,05 m
Capa de compresión	▶	H-21. Espesor: 0,06 m
Malla metálica	▶	1Ø8mm cada 18cm; 1Ø8mm cada 15cm
Hormigón (llenado de losa)	▶	H-17. Espesor: 0,25 m
Placa EPS	▶	Densidad: 20 kg/m³. Espesor: 0,07 m
Carpeta concreto (azotado)	▶	Cemento-arena 1:3. Espesor: 0,01 m
Revoque grueso a la cal	▶	Espesor: 0,015 m
Revoque fino a la cal	▶	Espesor: 0,05 m

Composición: techo de panel monolítico estructural

Material		Características
Pintura asfáltica	▶	Dos manos (para pegar membrana y placa de EPS)
Membrana asfáltica c/aluminio	▶	Espesor: 0,004 m
Carpeta de nivelación para escurrimiento:	▶	Hormigón alivianado con copos de poliestireno expandido. Espesor: 0,05 m
Capa de compresión	▶	H-21. Espesor: 0,06 m
Panel estructural monolítico	▶	Tipo PCR08 Cassaforma
Malla metálica de refuerzo adicional	▶	Tipo MAE Cassaforma (Ø 2,5 mm electrosoldados, con separación transversal de 112 mm y separación longitudinal de 75 mm, de 2,4 m x 3,08 m.
Film de polietileno	▶	Densidad: 950 kg/m ³ Espesor: 100 um
Capa de concreto proyectado aditivado con fibras de polipropileno	▶	Espesor: 0,03 m
Enduido plástico	▶	Dos manos

La Figura 18 muestra una comparación del impacto potencial sobre el calentamiento global producido por la construcción de estos techos. Se observa que el techo de losa maciza produce el mayor impacto sobre el cambio climático global, siendo de 141 kg de CO₂eq/m². La producción y el empaque del cemento generan el mayor aporte al impacto total, con una contribución del 66 %.

El impacto del techo de panel monolítico estructural con membrana asfáltica es 49% menor que el del techo de losa maciza. Utilizar una cubierta de tejas cerámicas induce un incremento del impacto de 16 %. En estos techos, la producción del cemento empacado es también el elemento de mayor impacto (42 % del total, en promedio), seguido de la producción del panel monolítico estructural (27 % del total, en promedio).

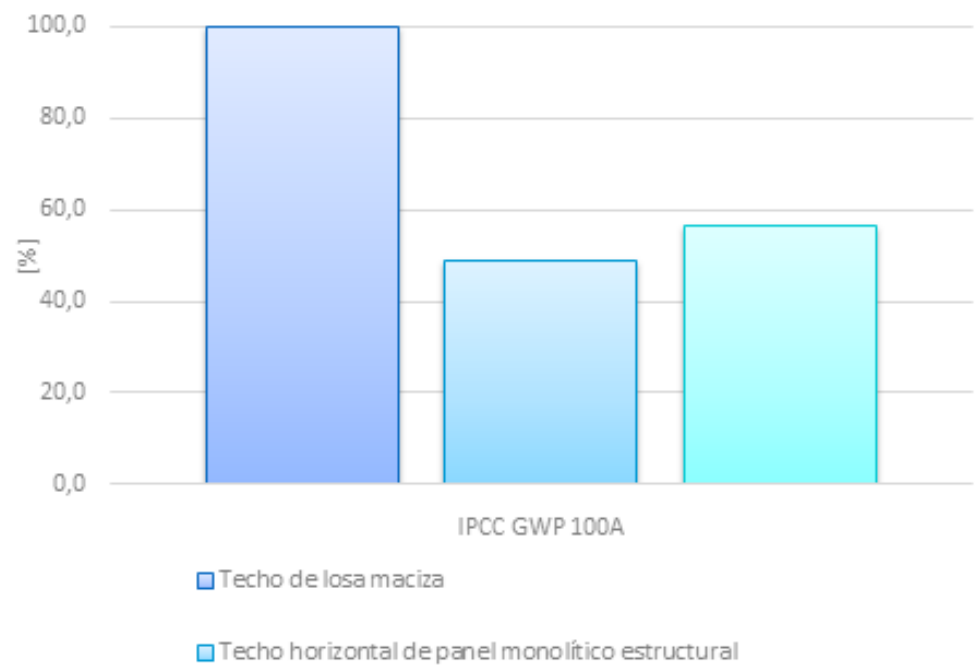


Figura 18. Comparación del impacto potencial sobre el calentamiento global asociado con la construcción de techos de losa maciza y techos de panel monolítico estructural con distintos tipos de cubierta.

La Figura 19 muestra, en forma comparativa, la energía incorporada para los tres techos analizados. Se observa un patrón de impacto similar al del Potencial de calentamiento global: el techo de losa maciza es el que tiene más energía incorporada (1.100 MJ/m²); mientras que los techos con panel monolítico estructural consumen entre un 15 % y 21 % menos de energía, dependiendo si tienen o no tejas cerámicas, respectivamente.

En general, se observa que la mayor parte de la energía incorporada en los techos analizados proviene de fuentes fósiles. Esto es consecuencia de los elevados consumos de energía eléctrica y calórica asociados a los procesos de producción de los materiales y componentes requeridos para su construcción.

Se destaca nuevamente que, los resultados mostrados en este apartado representan únicamente los impactos asociados a la fabricación y puesta en el sitio de obra, y no tienen en cuenta la influencia de las propiedades técnicas de los materiales a lo largo de la fase de uso.

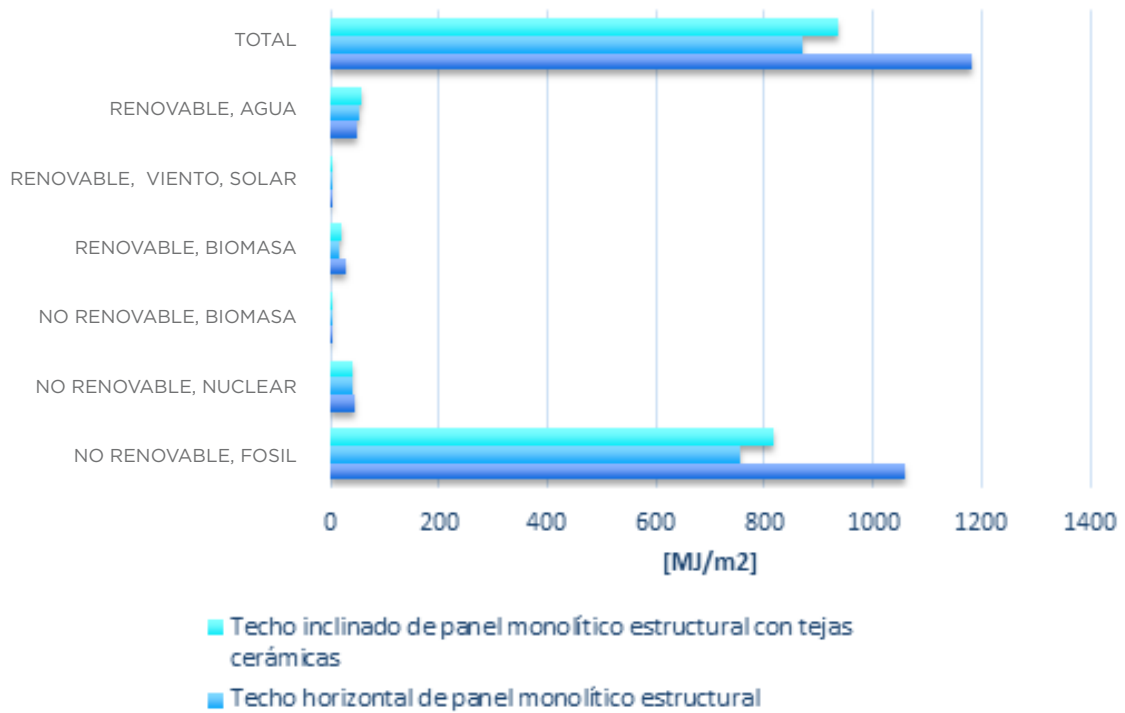


Figura 19. Comparación del impacto asociado al consumo de energía requerida para la construcción de techos de losa maciza y techos de panel monolítico estructural con distintos tipos de cubierta.



**Techo de chapa con
cielorraso de yeso**

VS

**Techo de chapa con
cielorraso de machimbre**

A continuación, se muestra un análisis de los impactos producidos por la construcción de un techo de chapa con cielorraso de placas de yeso y un techo de chapa con cielorraso de madera machihembrada. Las siguientes tablas presentan la composición por capas de estos techos.

Composición: Techo de chapa con cielorraso de yeso

Material		Características
Chapa galvanizada T101 n° 25	➤	Peso: 5,18kg/m ² de chapa prepintada. Espesor: 0,005m
Lana de vidrio	➤	Peso: 25,02 kg/m ² . Espesor: 0,05 m
Pintura latex interior	➤	Dos manos
Cielorraso placa de yeso	➤	Peso: 8-12,5 kg/m ² Espesor: 9,5mm
Material soporte	➤	Correas PGC de 100 x 50 x 15 x 2 Clavaderas Perfil Omega de 70 x 28 x 13 x 0.5

Composición: Techo de chapa con cielorraso de machimbre

Material	Características
Chapa galvanizada T101 n° 25	Peso: 5.18kg/m ² de chapa prepintada. Espesor: 0,005m
Lana de vidrio con film de aluminio	Densidad: 25,02 kg/m ³ . Espesor: 0,08 m
Pintura latex interior	Densidad: 950 kg/m ³ . Espesor: 200 um pino eliotis Dimensiones: de ¾" x 4".
Cielorraso: madera machihembrada	Dos manos
Barniz marino	Correas PGC de 100 x 50 x 15 x 2. Clavaderas Perfil Omega de 70 x 28 x 13 x 0.5
Material soporte	Correas PGC de 100 x 50 x 15 x 2. Alfajía de madera de pino de 2" x 1". Tirantes de madera de pino 3" x 6".

La Figura 20 revela que los dos techos analizados ocasionan potenciales impactos sobre el cambio climático global muy similares, siendo de sólo un 2 % menor para el que tiene cielorraso de placas de yeso (57,8 kg de CO₂eq/m² para el techo con cielorraso de yeso frente a 58,8 kg de CO₂eq/m² para el techo con machimbre).

Los mayores aportes a esta categoría de impacto están asociados al proceso de galvanizado que se realiza en chapas y perfiles metálicos. Como se mencionó en los apartados anteriores, el galvanizado es un proceso electro-intensivo y, por lo tanto, un gran emisor de GEI.

La influencia de los cielorrasos al impacto total es menor a 10 % en ambos techos, lo que explica en gran parte la escasa diferencia de impacto entre ellos.

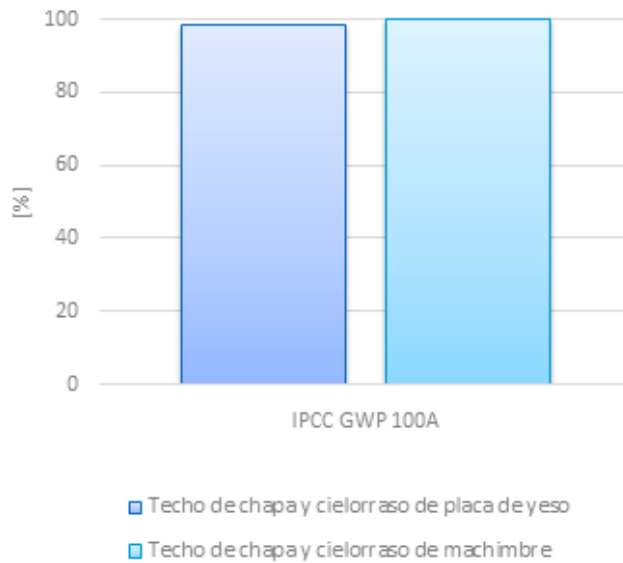


Figura 20. Comparación del impacto potencial sobre el calentamiento global asociado con la construcción de un techo de chapa con cielorraso de placas de yeso y un techo de chapa con cielorraso de madera machihembrada.

En la Figura 21 se observa que el techo con menor energía incorporada es claramente el que tiene cielorraso de placa de yeso (678 MJ/m^2); mientras que el techo con machimbre duplica el consumo energético (1480 MJ/m^2).

Si bien gran parte de la energía consumida por ambos techos proviene de fuentes fósiles, el techo con machimbre presenta además una cantidad importante de energía renovable que fue incorporada durante el crecimiento de la planta, lo que determina que el consumo energético total sea muy grande. Debe resultar claro al lector que esta energía de biomasa no está asociada a procesos antrópicos, y que esta energía incorporada en la madera podría aprovecharse, por ejemplo, una vez finalizada la vida útil de dicho componente.

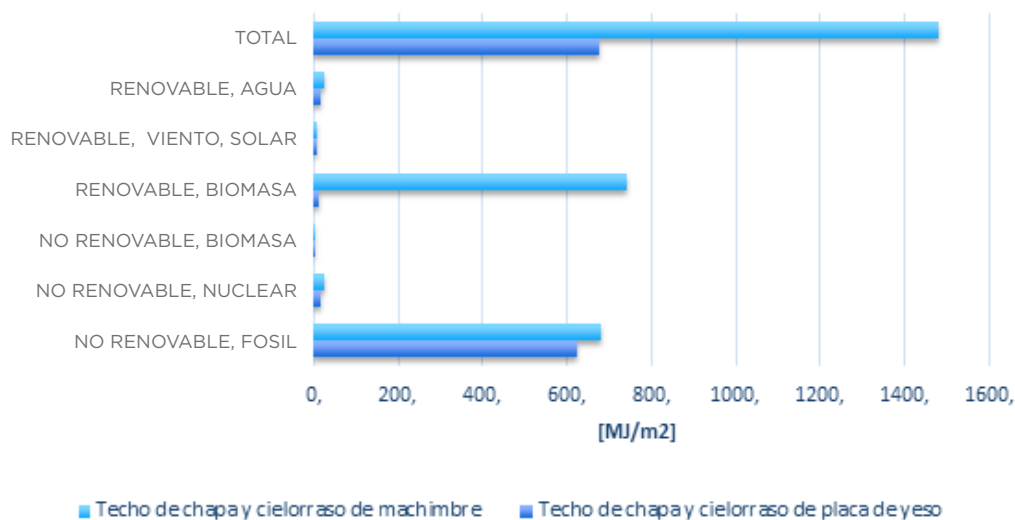


Figura 21. Comparación del impacto asociado al consumo de energía requerida para la construcción de un techo de chapa con cielorraso de placas de yeso y un techo de chapa con cielorraso de madera machihembrada.

En los siguientes gráficos se muestra la variación en el consumo de energía (Figura 22a) y el impacto sobre el calentamiento global (Figura 22b) del techo de chapa con cielorraso de machimbre, considerando que se instalará en viviendas sociales de Formosa y Neuquén.

Se observa que la energía incorporada es un 22 % menor si se instala en Neuquén que si se instala en Formosa.

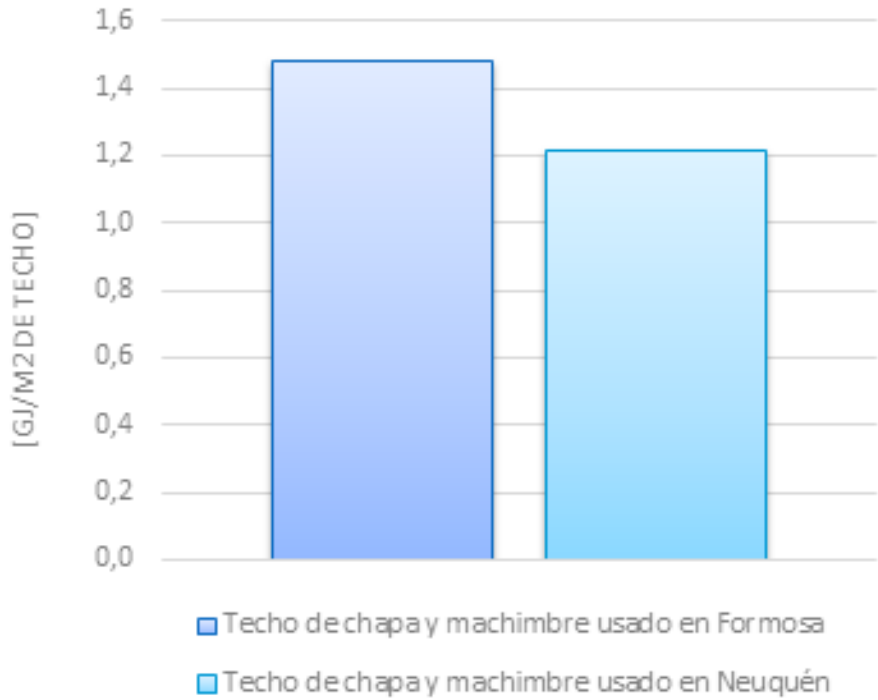


Figura 22a. Comparación del impacto asociado al consumo acumulado de energía para la construcción del techo de chapa con cielorraso de machimbre usado en las viviendas sociales de Formosa y Neuquén.

Analizando ahora el potencial de calentamiento global (Figura 22b), se ve que el impacto en Neuquén es prácticamente la mitad del de Formosa.

Indudablemente, estas variaciones se asocian directamente con la distancia de transporte entre los fabricantes de materiales y el sitio de construcción de las viviendas. En efecto, en este caso se consideró que los materiales de madera (tablas, alfajías, tirantes, etc.) utilizados en las viviendas de Formosa provienen de aserraderos localizados en Corrientes, mientras que para Neuquén se consideró que estos materiales son provistos por CORFONE-Corporación Forestal Neuquina S.A. Estos resultados manifiestan nuevamente la importancia de optar por fabricantes cercanos al sitio de obra para lograr reducir los impactos ambientales calculados.

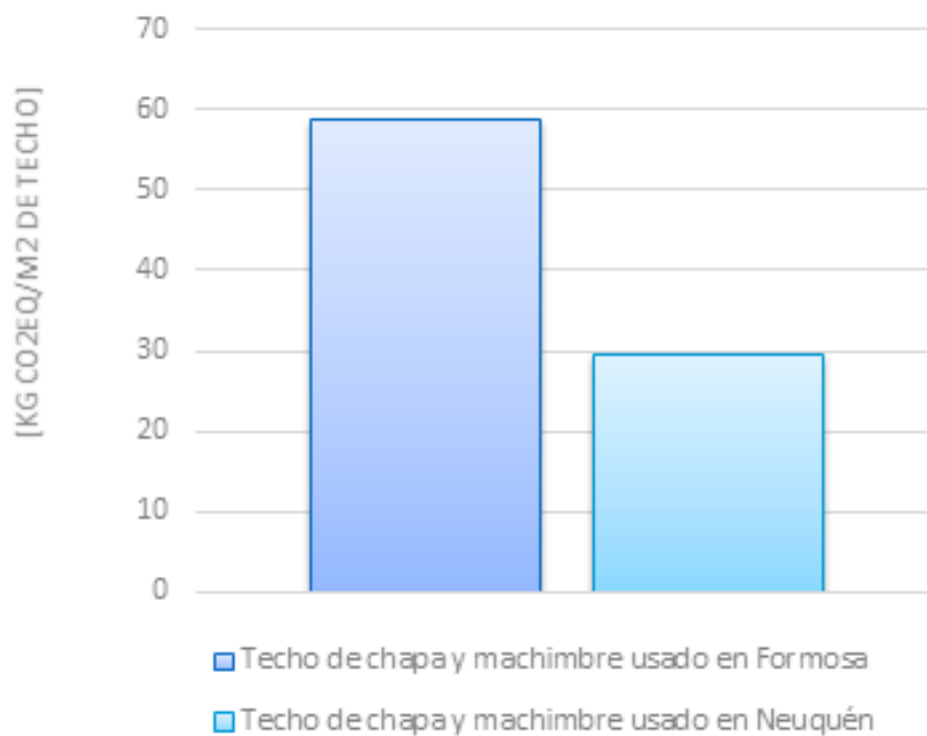
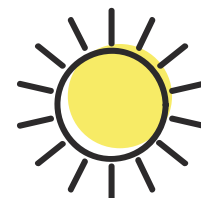


Figura 22b. Comparación del impacto sobre el cambio climático asociado a la construcción del techo de chapa con cielorraso de machimbre usado en las viviendas sociales de Formosa y Neuquén.



7. MUROS-TROMBE

A continuación, se presentan los resultados de impacto obtenidos para distintos tipos de muros trombe, utilizando como UF 1 m2 de superficie de muro.

Se evalúan los siguientes muros:

- MAC: Muro colector acumulador de calor, conformado por bloques de hormigón apilables y vainas plásticas estancas cargadas con agua, con vidriera frontal.
- MT-1: Muro trombe de mampostería, pintado de color negro, con paneles de vidrio laminado y carpintería de PVC, protegido por placas cementicias.
- MT-2: Muro trombe conformado por un tabique de hormigón armado, pintado de color negro, y paneles de vidrio con carpintería de aluminio.
- MT-3: Muro trombe compuesto por paneles fijos de vidrio laminado con carpintería de aluminio, instalados sobre un muro seco de paneles OSB.

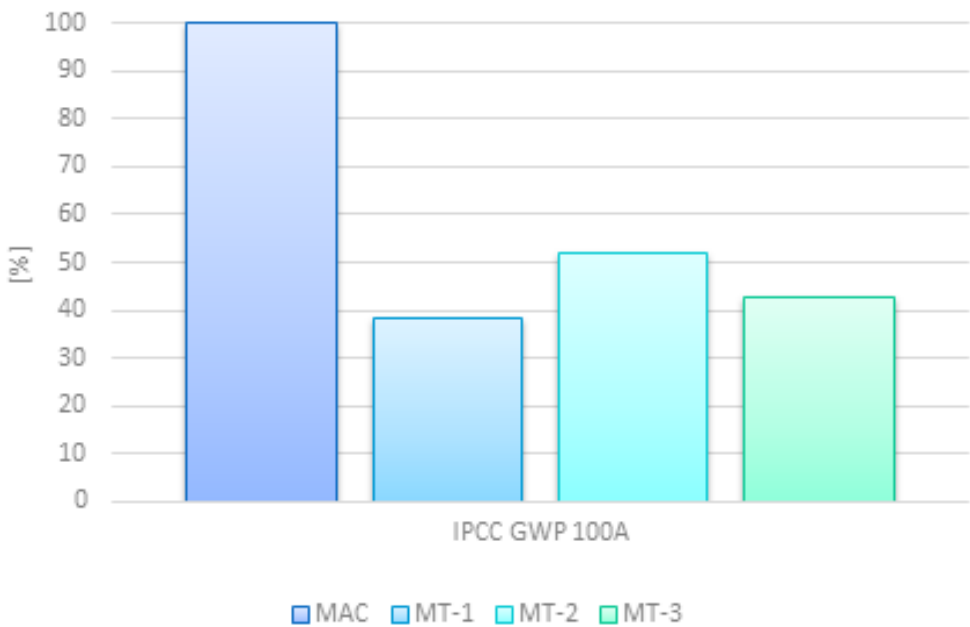


Figura 23. Comparación del impacto potencial sobre el calentamiento global asociado con la construcción de un muro acumulador de calor (MAC), un muro trombe de mampostería (MT-1), un muro trombe de tabiques de hormigón (MT-2) y un muro trombe seco de paneles OSB (MT-3).

En todos los casos se han considerado los procesos de producción de materiales y su transporte, y la construcción y puesta en obra de los muros, y no se incluye la etapa de uso.

La Figura 23 muestra una comparación del impacto potencial sobre el calentamiento global producido por la construcción de estos muros. Se observa que el MAC produce el mayor impacto sobre el cambio climático global, siendo de 346 kg de CO₂eq/m². La fabricación de la vidriera frontal es el proceso con mayor contribución a este impacto, representando el 38,6 % del total, seguido de la producción de los bloques de concreto con el 30,1 %.

En segundo lugar se posiciona el MT-2 (tabique de hormigón) con un impacto de 180 kg de CO₂eq m² (equivalente al 52 % del impacto del MAC). El principal responsable es la fabricación de la placa de vidrio (incluida si carpintería), representando el 61 % del total.

Los MT-1 (muro de mampostería) y MT-3 (muro seco) ocasionan un impacto sobre el cambio climático de 133 kg de CO₂eq/m² y 148 kg de CO₂eq/m², respectivamente (alrededor del 40 % del impacto asociado al MAC). En ambos casos, el principal responsable es la fabricación de los paneles de vidrio, representando respectivamente el 72 % y el 64 % del impacto total.

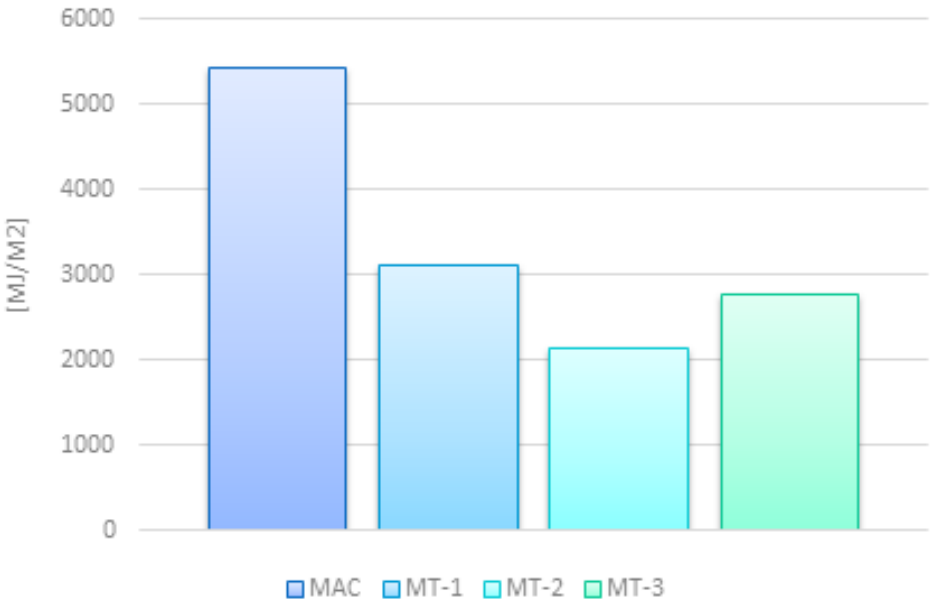


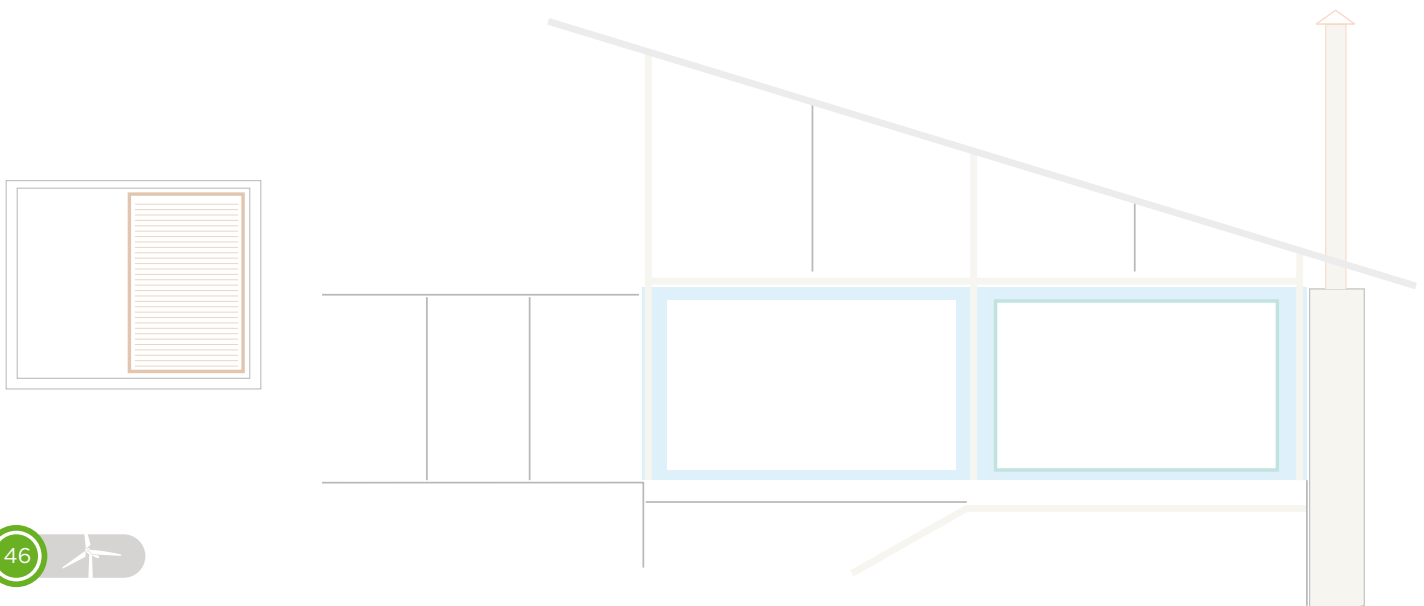
Figura 24. Comparación del impacto asociado al consumo de energía requerida para la construcción de un muro acumulador de calor (MAC), un muro trombe de mampostería (MT-1), un muro trombe de tabiques de hormigón (MT-2) y un muro trombe seco de paneles OSB (MT-3).

8. PROTOTIPOS

En esta sección se presentan los resultados de impacto obtenidos para la etapa de construcción para distintos tipos prototipos de vivienda, localizados en un mismo sitio de emplazamiento. En el capítulo 9 se presentarán los resultados considerando además la etapa de uso de estos prototipos, durante 50 años.

Los prototipos considerados para este análisis son:

- Prototipo 0, correspondiente a la vivienda de referencia, con diseño y condiciones actuales del IPV: muros exteriores de mampostería tradicional de ladrillo hueco, techo de losa con vigueta premoldeada y placas EPS, ventanas de chapa doblada con vidrio simple, puertas exteriores de chapa doblada (una con vidrio y otra sin vidrio).
- Prototipos 1 y 2, con modificaciones en las características térmicas de muros y techos: muros exteriores de mampostería tradicional de ladrillo hueco con aislación térmica de EPS, techo de paneles monolíticos estructurales, ventanas de PVC con DVH, puertas exteriores de PVC (una con vidrio y otra sin vidrio).
- Prototipo 3, vivienda rediseñada: muros exteriores de paneles monolíticos estructurales con mayor espesor del núcleo, techo de paneles monolíticos estructurales, aberturas similares a los prototipos 1 y 2, con muro trombe y colectores solares.
- Prototipo 4, vivienda rediseñada: similar al prototipo 3, con incorporación de paneles fotovoltaicos (FV).



En todos los casos se han considerado los procesos de producción y transporte de materiales, la fabricación/construcción de los componentes (ventanas, muros, tecnologías solares, etc.), su transporte hasta el sitio de emplazamiento y su instalación o puesta en obra.

La Figura 25 muestra una comparación del impacto potencial sobre el calentamiento global ocasionado por la construcción de los diferentes prototipos de vivienda evaluados.

Se observa claramente que el prototipo 4 (correspondiente a la vivienda rediseñada, con tecnologías solares pasivas y activas) es el más impactante (19.600 kg de CO₂eq por prototipo), mientras que los prototipos 1 y 2 (con tecnologías constructivas que incorporan mejoras en la aislación térmica de muros y techos respecto de la vivienda de referencia) son los que producen menor impacto sobre el cambio climático global (13.700 kg de CO₂eq por prototipo).

Las tecnologías constructivas propuestas para las viviendas rediseñadas (techo y muros exteriores de panel monolítico estructural) disminuyen el impacto en 10 % respecto de las viviendas de referencia construidas con técnicas tradicionales. Sin embargo, incorporar muros trombe en el diseño de las viviendas ocasiona un aumento del impacto potencial sobre el calentamiento global de aproximadamente 12 %. Así mismo, la incorporación de calefones solares y paneles FV (tecnologías solares activas) conduce a incrementos de 10 % y 17 %, respectivamente.

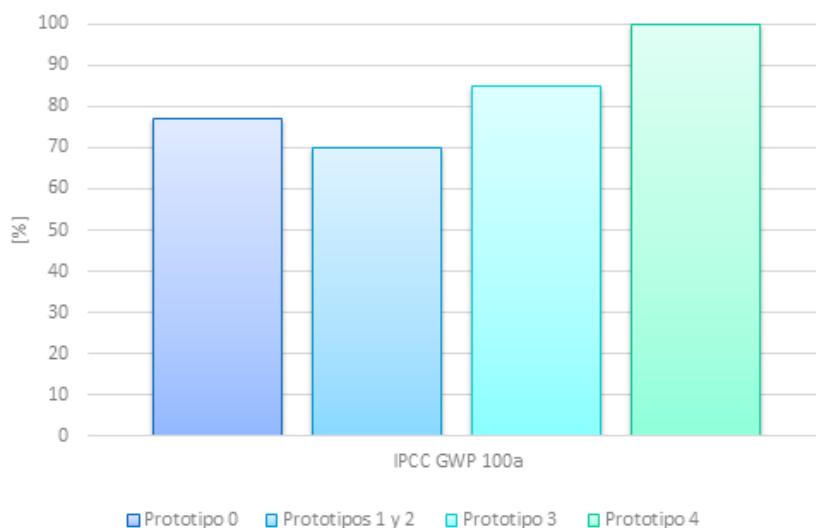


Figura 25. Comparación del impacto potencial sobre el calentamiento global asociado con la construcción de distintos prototipos de vivienda involucrados en el proyecto.

Las barras de la Figura 25 representan el porcentaje del impacto total de cada uno de los prototipos respecto al prototipo que posee el impacto mayor (tomado como 100%).

Se analiza a continuación la contribución de procesos al impacto sobre el calentamiento global para cada uno de los prototipos:

Prototipo 0

En el prototipo 0, la construcción y puesta en obra del techo es el proceso con mayor contribución al impacto (cerca del 50 % del total), asociado en mayor medida a la fabricación de las vigas premoldeadas. La participación de la construcción de los muros exteriores es levemente inferior a la del techo, contribuyendo con el 45 % al impacto total. Los principales responsables de esta contribución son la producción de los ladrillos huecos y la elaboración de los revocos.



Figura 26: Comparación porcentual del impacto potencial sobre el calentamiento global asociado a los componentes utilizados en la construcción del Prototipo 0

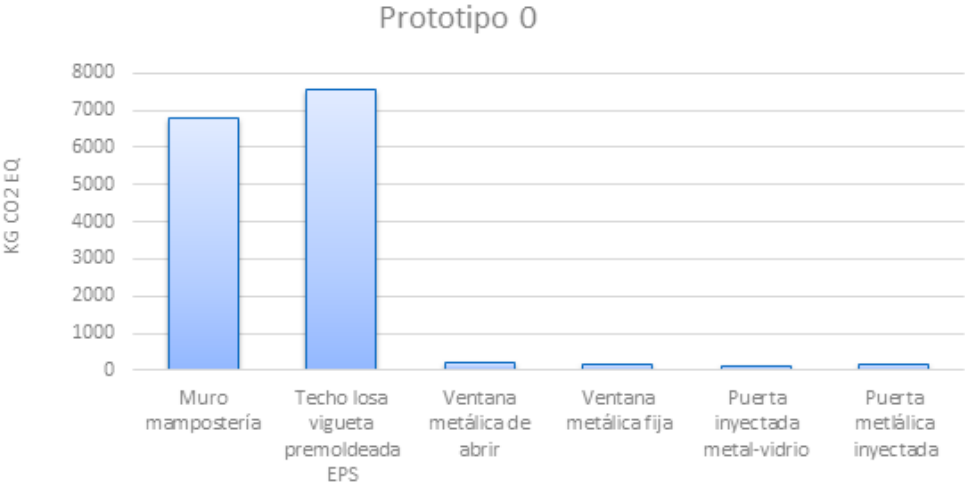


Figura 27: Comparación del impacto potencial sobre el calentamiento global asociado a los componentes utilizados en la construcción del Prototipo 0

Ambos gráficos muestran que, en primer lugar, la construcción y puesta en obra del techo de losa con viga premoldeada con EPS es el componente que más contribuye al impacto sobre el calentamiento global de este prototipo. El segundo lugar corresponde a la construcción del muro exterior de mampostería.

Prototipos 1y2

A diferencia del prototipo 0, en los prototipos 1 y 2 el mayor impacto se produce durante la construcción y puesta en obra de los muros, con aportes que representan aproximadamente el 50 % del total. Los principales responsables son la fabricación de los ladrillos huecos y la producción y empaque de la base coat utilizada como adhesivo de los aislantes térmicos. La construcción y puesta en obra del techo participa con el 41 % al impacto total, siendo los principales contribuyentes la producción y el empaque del cemento y la fabricación de los paneles monolíticos

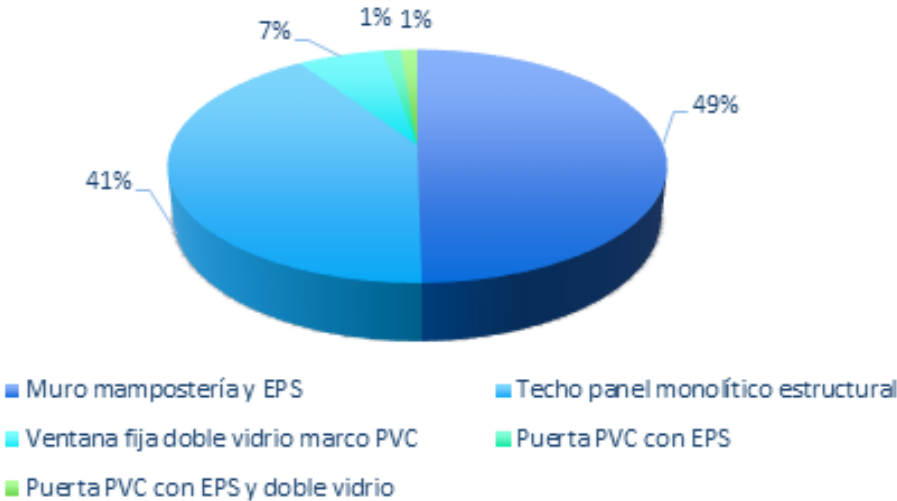
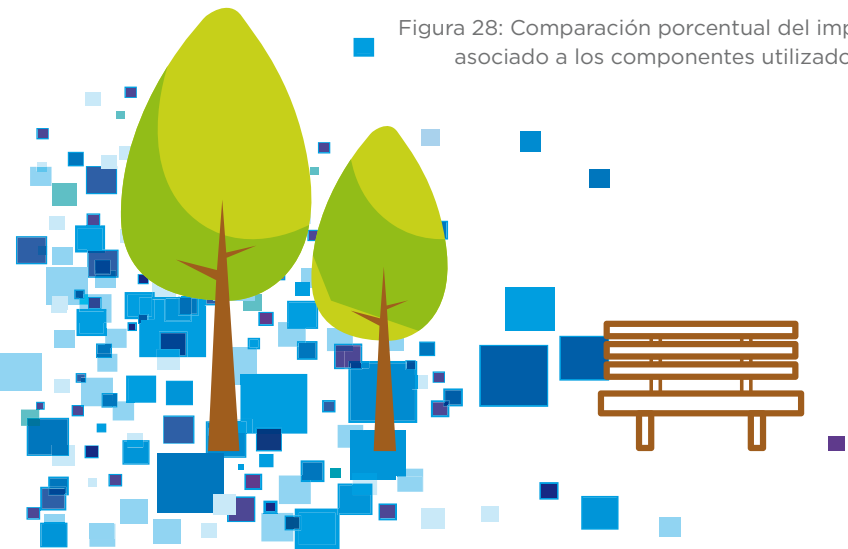


Figura 28: Comparación porcentual del impacto potencial sobre el calentamiento global asociado a los componentes utilizados en la construcción de los Prototipos 1 y 2



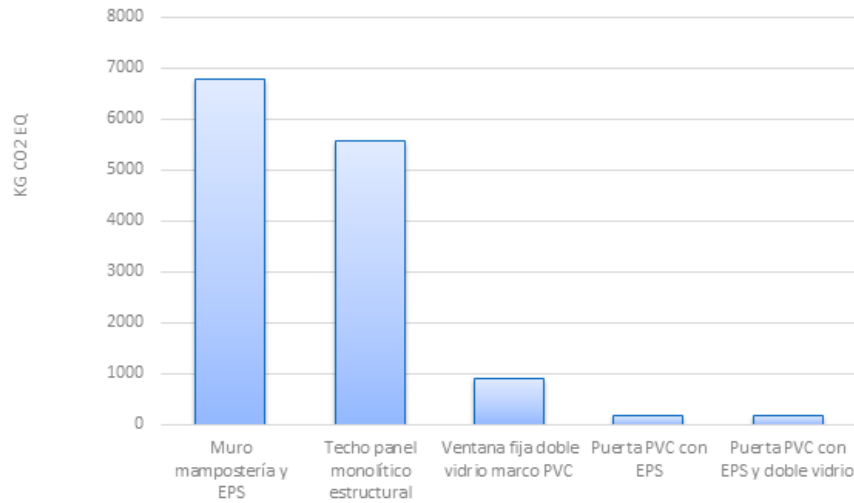


Figura 29: Comparación del impacto potencial sobre el calentamiento global asociado a los componentes utilizados en la construcción del Prototipos 1 y 2

Ambos gráficos muestran que, en este caso, la construcción y puesta en obra del muro de mampostería con EPS es el componente que más contribuye al impacto sobre el calentamiento global de este prototipo. El segundo lugar corresponde a la construcción y puesta en obra del techo de panel monolítico estructural.

Prototipo 3

En el prototipo 3, el mayor impacto sobre el cambio climático se produce durante la construcción y puesta en obra del techo, con aportes que representan el 46 % del total, mientras que la construcción de los muros exteriores participa con el 23 %. Los principales responsables son la producción y empaque del cemento, la elaboración de morteros y la fabricación de los paneles monolíticos estructurales. Se destaca además en este prototipo la influencia en el impacto de la fabricación e instalación de las ventanas de PVC con DVH. La contribución de la construcción de los muros trombe es de 1.650 kg de CO₂eq por vivienda y representa el 10 % del impacto total, mientras que la incorporación de calefones solares impacta con 1.364 kg de CO₂eq por vivienda y representa el 8 %.

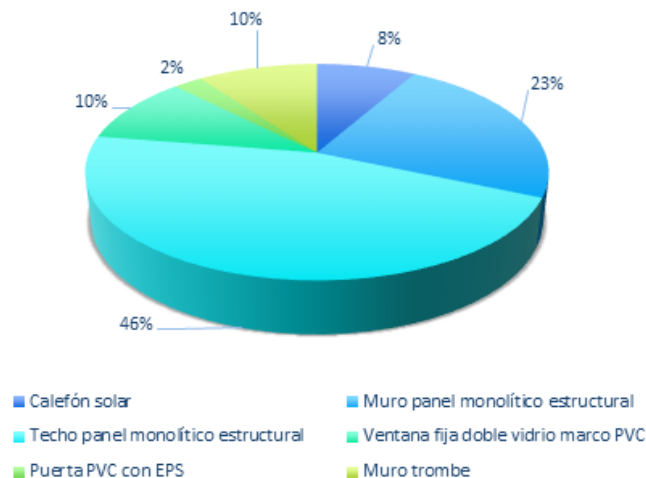


Figura 30: Comparación porcentual del impacto potencial sobre el calentamiento global asociado a los componentes utilizados en la construcción del Prototipo 3.

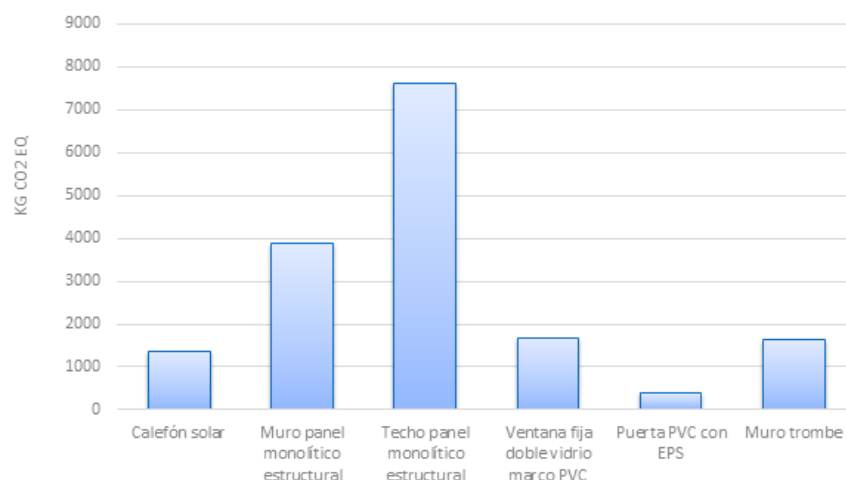


Figura 31: Comparación del impacto potencial sobre el calentamiento global asociado a los componentes utilizados en la construcción del Prototipo 3.

Ambos gráficos muestran que, en primer lugar, la construcción y puesta en obra del techo de panel monolítico estructural es el componente que más contribuye al impacto sobre el calentamiento global de este prototipo. El segundo lugar corresponde a la construcción del muro exterior de panel monolítico estructural.

Prototipo 4

El prototipo 4 se diferencia del prototipo 3 por la incorporación de un sistema solar fotovoltaico. La fabricación e instalación de los paneles FV implica un impacto potencial adicional sobre el cambio climático de 2.250 kg de CO₂eq por vivienda construida, lo cual representa el 11,5 % del total para este prototipo.

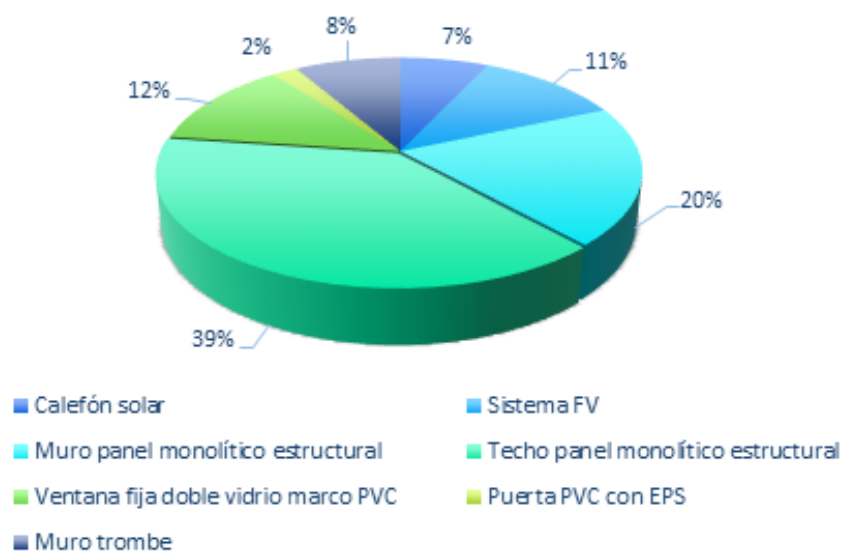


Figura 32: Comparación porcentual del impacto potencial sobre el calentamiento global asociado a los componentes utilizados en la construcción del Prototipo 4.

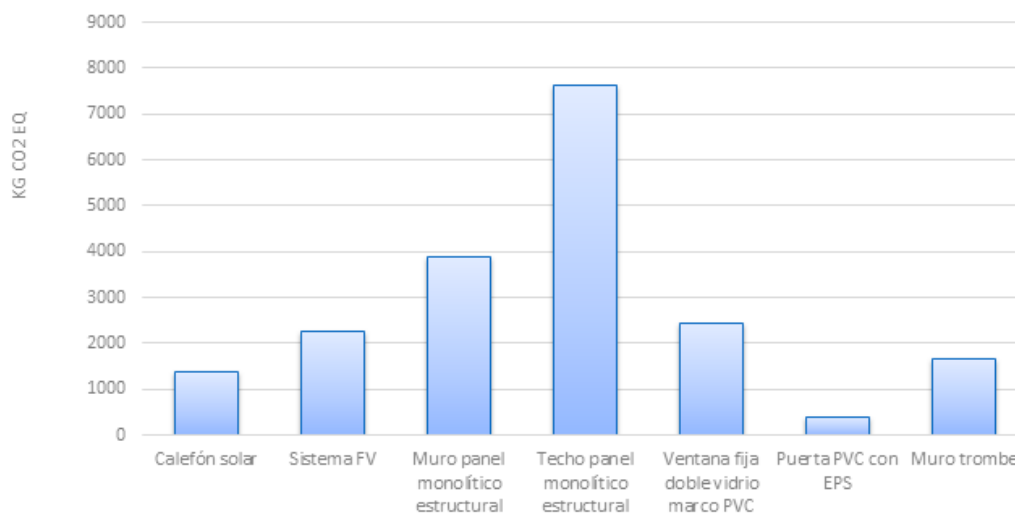


Figura 33: Comparación del impacto potencial sobre el calentamiento global asociado a los componentes utilizados en la construcción del Prototipo 4.

Ambos gráficos muestran que la construcción y puesta en obra del techo de panel monolítico estructural es el componente que más contribuye al impacto sobre el calentamiento global de este prototipo. El segundo lugar corresponde a la construcción del muro exterior de panel monolítico estructural.

En la siguiente figura se compara el impacto de estos prototipos desde el punto de vista del consumo acumulado de energía. Se observa que el prototipo 0 es el menos demandante de energía (161.000 MJ por vivienda construida), mientras que el prototipo 4 es el que tiene mayor cantidad de energía incorporada (292.000 MJ por vivienda construida).

En este caso, incorporar tecnología solar fotovoltaica genera un aumento cercano al 12 % en el consumo energético total asociado a la construcción de la vivienda, ya que se considera la fabricación, transporte e instalación de los paneles FV. Con el mismo concepto, la inclusión de calefones solares incrementa la demanda energética durante la etapa constructiva en 8%, mientras que la construcción y puesta en obra de muros trombe conduce a un aumento cercano al 17 % en la energía total consumida.

En cuanto al modelo constructivo (sin incluir tecnologías solares activas y pasivas), las viviendas rediseñadas (prototipos 3 y 4) requieren un incremento del consumo de energía del 13 % en relación a la vivienda de referencia.

Se recalca nuevamente que estos valores no consideran la influencia de estas tecnologías y estrategias en la demanda de energía durante la fase de ocupación de las viviendas.

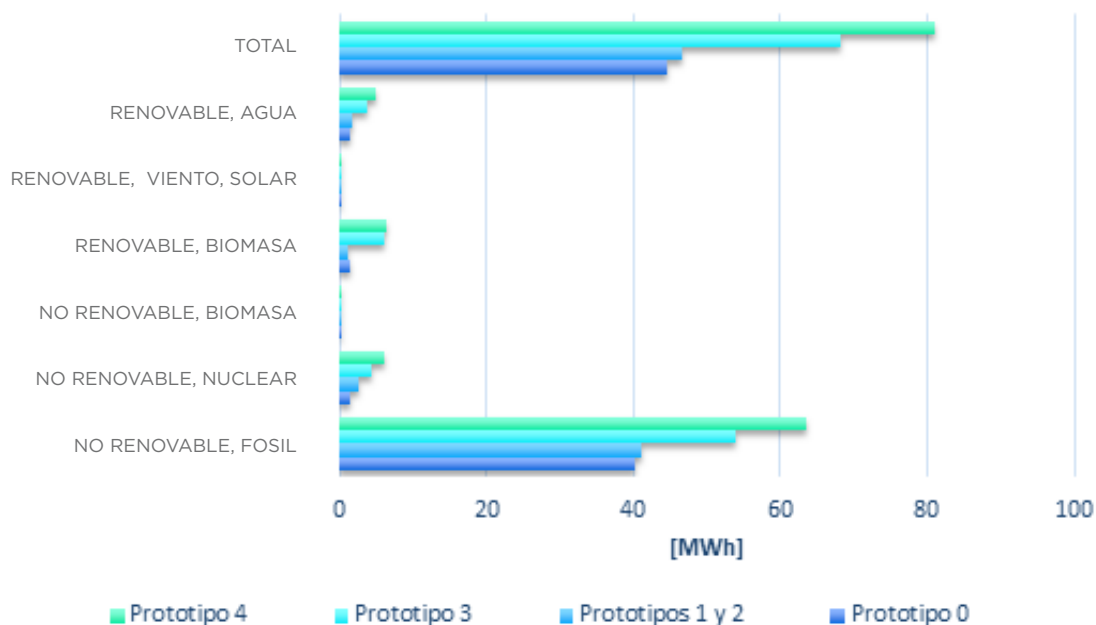


Figura 34. Comparación del impacto asociado al consumo de energía requerida para la construcción de los diferentes prototipos de vivienda involucrados en el proyecto.

Se detalla a continuación la contribución de procesos al consumo acumulado de energía para cada uno de los prototipos:

En el prototipo 0 se destaca nuevamente la cantidad de energía requerida para construir el techo (57 % del total), que supera ampliamente a la necesaria para construir los muros exteriores de la vivienda (36 %). El mayor demandante de energía es claramente el proceso de fabricación de las vigas premoldeadas que conforman el techo, seguido de la producción de los ladrillos huecos.

En los prototipos 1 y 2, similar a lo detallado para el cambio climático global, la construcción de los muros exteriores es el principal consumidor de energía, con una demanda que representa el 45 % del total. El principal responsable en este caso es el proceso de producción de la base coat. La energía requerida para construir los techos es algo inferior a la de los muros (40 % del total) y se consume mayormente durante la producción de los paneles monolíticos estructurales y la fabricación y el empaque del cemento.

Para el prototipo 3, el mayor consumo de energía se relaciona con la construcción y puesta en obra del techo (39 % del total), mientras que la demanda energética correspondiente a la construcción de los muros exteriores es marcadamente inferior (20 % del total). La incorporación de muros trombe implica un consumo de energía de 40.400 MJ, mientras que la fabricación e instalación del calefón solar demanda 19.380 MJ por vivienda construida. Estos consumos representan el 17 % y 8 % del total del prototipo, respectivamente.

La incorporación de paneles FV en el prototipo 4 induce un incremento en el consumo energético de 35.740 MJ por vivienda, respecto al prototipo 3, lo cual representa el 12 % del total de energía incorporada en este prototipo.

9. CICLO DE VIDA

En esta sección se analiza el impacto originado a lo largo del ciclo de vida de los prototipos analizados en el apartado anterior, considerando, además de la etapa de fabricación y puesta en el sitio de obra, la etapa de ocupación de las viviendas. En la etapa de ocupación se ha tenido en cuenta únicamente la demanda de energía convencional y la generación de energía solar térmica y fotovoltaica, para calentamiento de agua sanitaria, funcionamiento de aparatos eléctricos y calefacción.

Los resultados obtenidos se expresan por m² de superficie cubierta, considerando 50 años de vida útil.

Se ha supuesto que los prototipos analizados utilizan los siguientes tipos de energía:

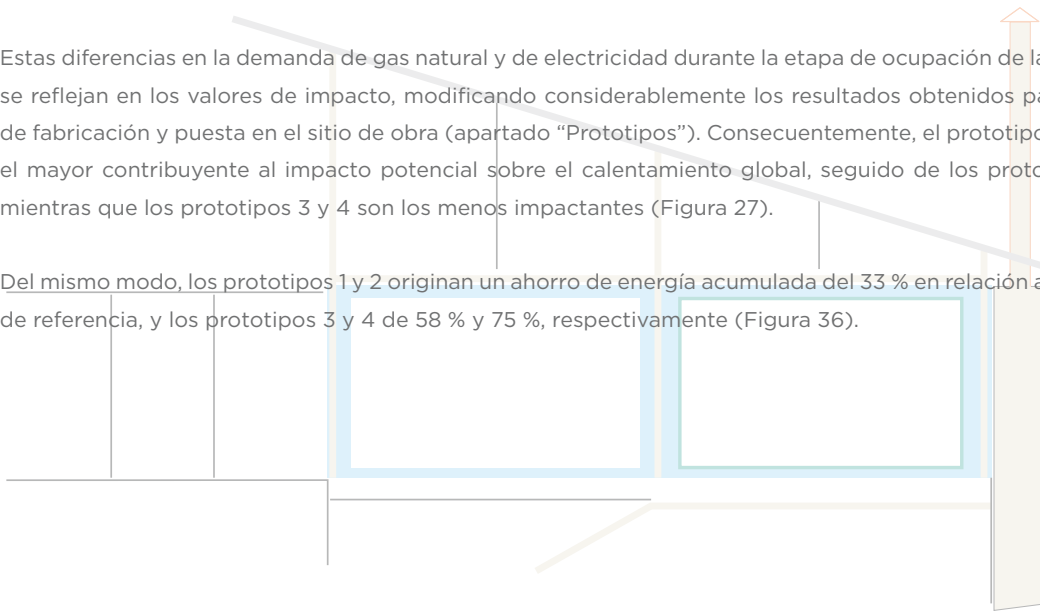
- Eléctrica de red, para los prototipos 0, 1, 2, 3 y 4.
- Gas natural, para los prototipos 0, 1, 2, 3 y 4.
- Solar térmica, para los prototipos 3 y 4.
- Solar fotovoltaica, para el prototipo 4.

Como resultado del diseño constructivo y de las tecnologías involucradas, la demanda de energía durante la etapa de ocupación varía de un prototipo a otro:

- Los prototipos 1 y 2 requieren menor cantidad de gas natural para calefacción que el prototipo de referencia, lógicamente por las mejoras en la aislación térmica de muros y techo.
- El prototipo 3 reduce aún más el requerimiento de gas natural para calefacción como consecuencia del rediseño y de la incorporación de muros trombe, e induce un ahorro adicional de energía ya que cuenta con colectores solares para el calentamiento de agua.
- El prototipo 4 tiene un requerimiento de gas natural similar al del prototipo 3, pero parte de la electricidad que requiere es generada por el sistema solar fotovoltaico. Por lo tanto, reduce la demanda de electricidad de la red.

Estas diferencias en la demanda de gas natural y de electricidad durante la etapa de ocupación de las viviendas se reflejan en los valores de impacto, modificando considerablemente los resultados obtenidos para la etapa de fabricación y puesta en el sitio de obra (apartado “Prototipos”). Consecuentemente, el prototipo 0 es ahora el mayor contribuyente al impacto potencial sobre el calentamiento global, seguido de los prototipos 1 y 2; mientras que los prototipos 3 y 4 son los menos impactantes (Figura 27).

Del mismo modo, los prototipos 1 y 2 originan un ahorro de energía acumulada del 33 % en relación a la vivienda de referencia, y los prototipos 3 y 4 de 58 % y 75 %, respectivamente (Figura 36).



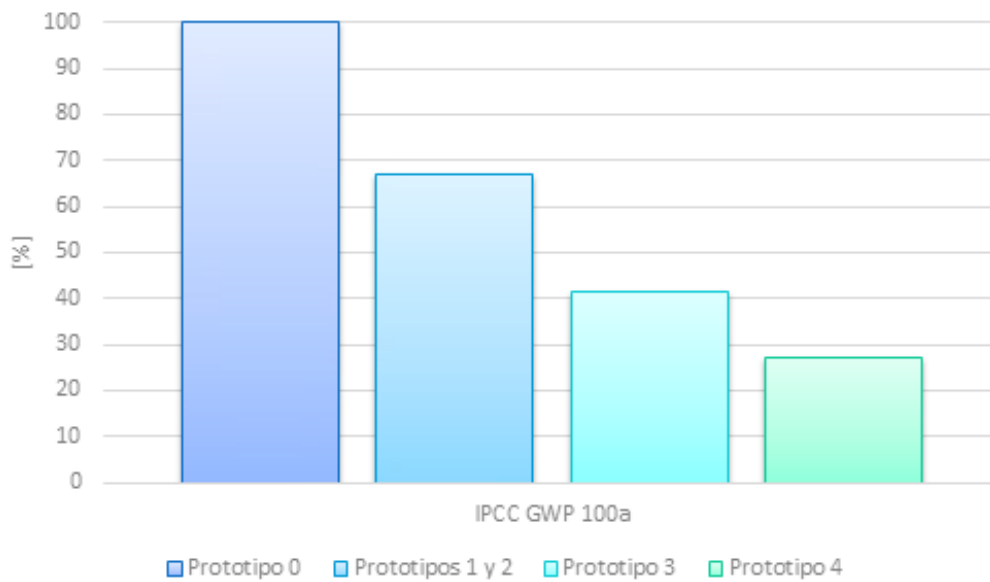


Figura 35. Comparación del impacto potencial sobre el calentamiento global asociado con la construcción y ocupación de distintos prototipos de vivienda involucrados en el proyecto.

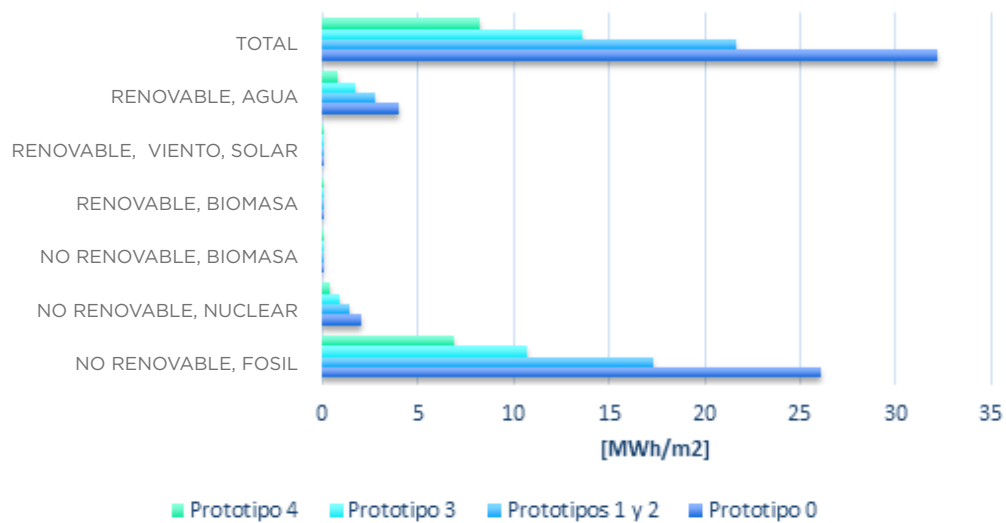


Figura 36. Comparación del impacto asociado al consumo de energía requerida para la construcción y ocupación de diferentes prototipos de vivienda involucrados en el proyecto.

PARTE III:

ASPECTOS POCO ESTUDIADOS QUE MERECEN ATENCIÓN

A menudo se concentra la atención sobre cómo es el proceso de producir un componente, y cómo mejorarlo, y se descuidan otros que parecen poco significativos, pero cuya influencia no es despreciable.

Un caso es el proceso de instalación de un componente, por ejemplo una ventana. Los procesos que se deben utilizar para instalar una ventana en un muro dependen del material de la ventana, y del material del muro, y esto determina un impacto diferente. Así, el impacto asociado a la instalación de una ventana de aluminio en un muro de mampostería es diferente del de una ventana de PVC en el mismo muro. La Figura 37 explora este aspecto.

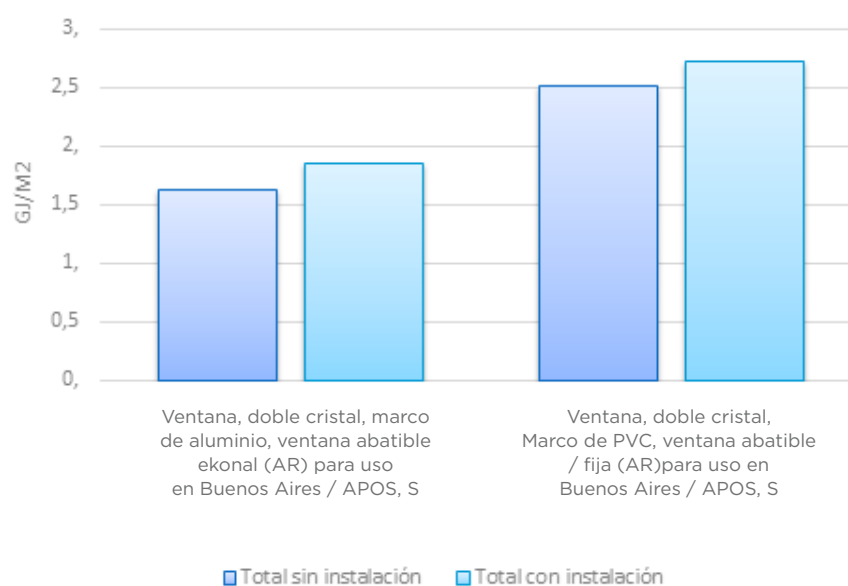


Figura 37. Comparación del consumo acumulado de energía para diferentes ventanas con y sin materiales de instalación, en GJ/m².

En este caso, el impacto es de un 13 % mayor al considerar la instalación cuando se trata de una ventana de aluminio, mientras el incremento se reduce al 8 % cuando es una ventana de PVC. Este resultado NO es absoluto, depende del proceso de instalación considerado, y no debe tomarse como una recomendación de instalar ventanas de PVC en detrimento de las de Aluminio. Se quiere en cambio destacar que el proyectista no debe descuidar estos detalles de instalación que en la obra se desarrollan sin demasiada atención, mientras se ha prestado excesiva atención a otros más visibles. Esto vale también para la instalación de puertas, muros trombe, dispositivos solares, etc.

El análisis del impacto causado por la instalación muestra que está fuertemente condicionado por el peso de los materiales requeridos (arena y cemento), y la distancia transportada. Es decir que este efecto se sentirá más en lugares en los que los proveedores de estos elementos se encuentren lejanos, y perderán influencia en caso contrario.



Puesto esto en contexto del impacto de la construcción de todo el prototipo, como es esperable la instalación de la ventana pierde toda relevancia. La Figura 38 muestra el consumo acumulado para el prototipo 3 considerado para este ejemplo. Se observa que los procesos más relevantes son la construcción y puesta en obra de los muros exteriores, del techo y del muro trombe. Ni la ventana ni su instalación aparecen en la Figura por tener escasa relevancia.

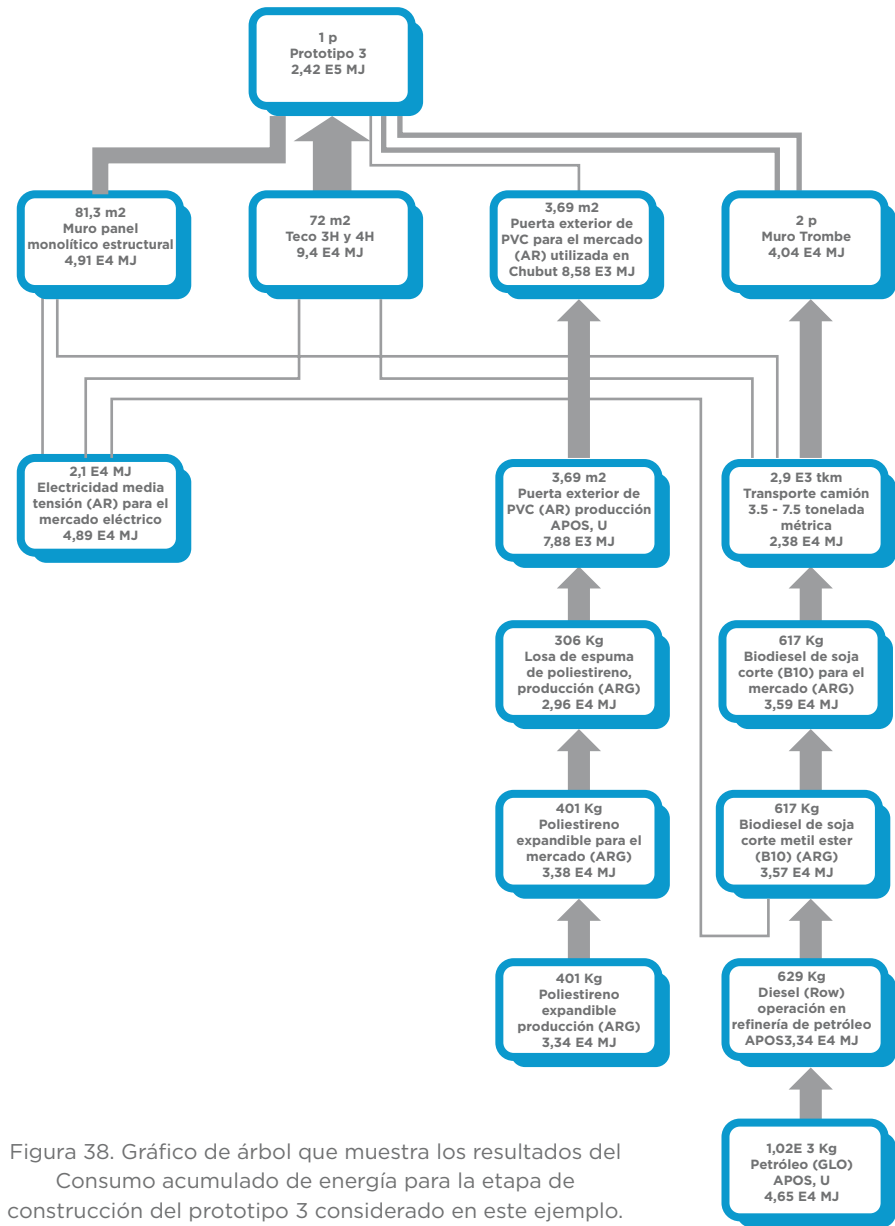


Figura 38. Gráfico de árbol que muestra los resultados del Consumo acumulado de energía para la etapa de construcción del prototipo 3 considerado en este ejemplo.

Poniendo ahora el prototipo en el contexto de su vida útil, en la Figura 39 se observa que su construcción tiene una pequeña participación en el impacto analizado, debido a la fuerte influencia del consumo de energía para climatización y el funcionamiento de artefactos eléctricos durante la etapa de uso.

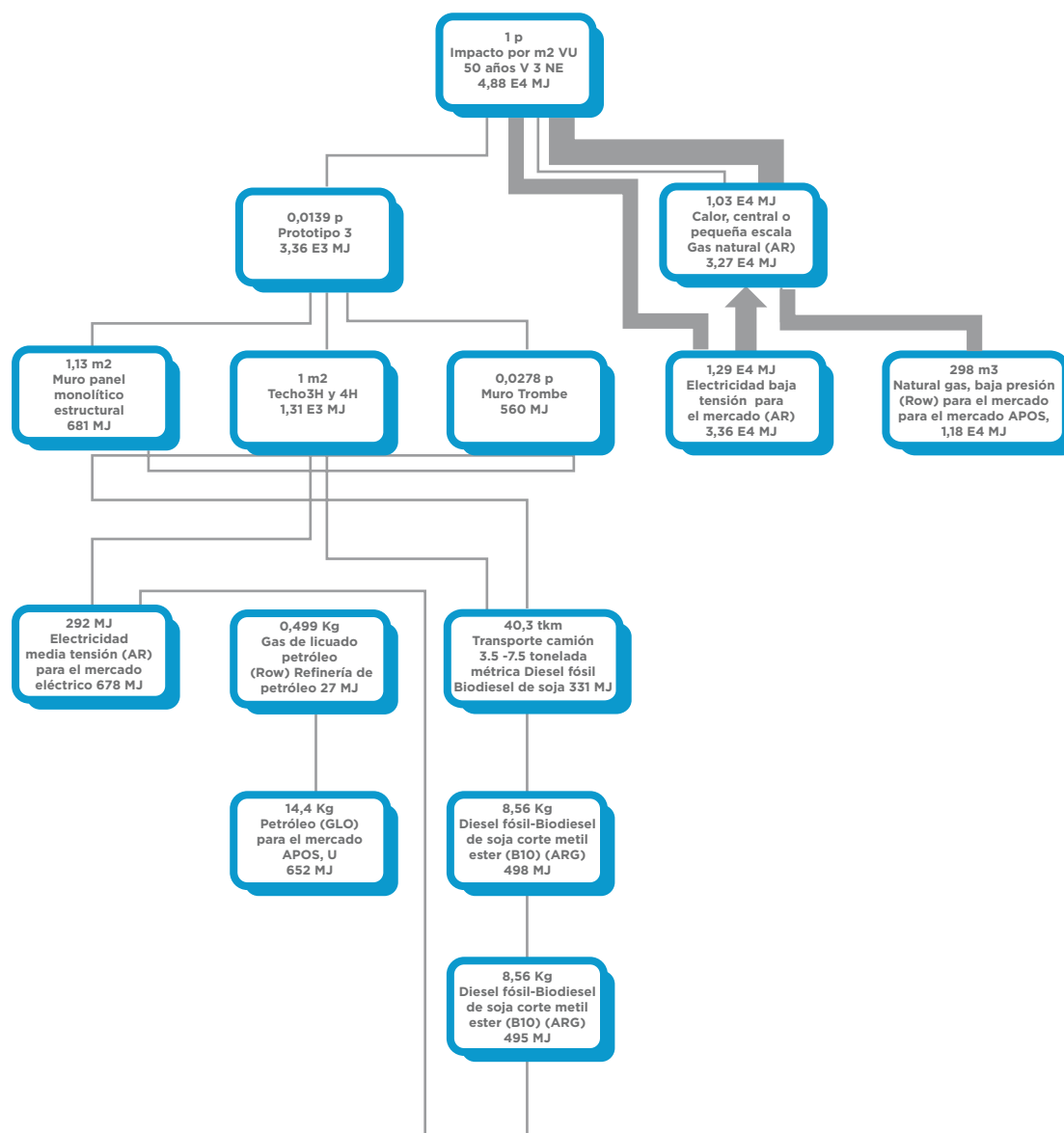


Figura 39. Gráfico de árbol que muestra los resultados del Consumo acumulado de energía incluida la etapa de uso del prototipo 3.



CONSIDERACIONES FINALES

Los resultados aquí presentados aportan un elemento importante para la toma de decisiones, y evidencia resultados concretos sobre los objetos analizados.

Este proyecto es sin duda inédito en el país, por su extensión, oportunidad, y profundidad. La realización de estudios de esta naturaleza, la construcción de inventarios y el posterior análisis es clave para lograr afianzar un camino hacia la sustentabilidad de los sistemas, a fin de que el proyectista pueda avanzar en el conocimiento que posee de las implicancias de su producto, y de proveer al tomador de decisiones de todas las herramientas que ayuden a su gestión.

Más allá de los ya mencionados, este trabajo puede tener otros aportes, como:

- Impactos en los profesionales del Análisis de ciclo de vida, fomentando la realización de estudios de esta naturaleza, lo que contribuirá a su vez a una mayor práctica en la actividad, y mejor calidad de los estudios.
- Impactos en los esquemas de certificación de edificios y los programas de ecoetiquetas ambientales tipo III (EPD, por sus siglas en inglés), fomentando la integración del Análisis de ciclo de vida con dichos esquemas, y el desarrollo de Reglas de Categoría de Producto (PCR, por sus siglas en inglés) de soluciones innovadoras.
- Impactos en la normativa nacional y en la legislación y en los antecedentes políticos, por ejemplo, incentivando los programas de compras públicas, y acercando la práctica profesional a las instituciones.
- Impactos sociales, fomentando la creación de nuevos empleos de alto nivel.
- Impactos en la competitividad del país, al contribuir al cumplimiento de los acuerdos y compromisos internacionales sobre disminución de emisiones y preservación de recursos.





Secretaría de Ambiente
y Desarrollo Sustentable
Presidencia de la Nación