

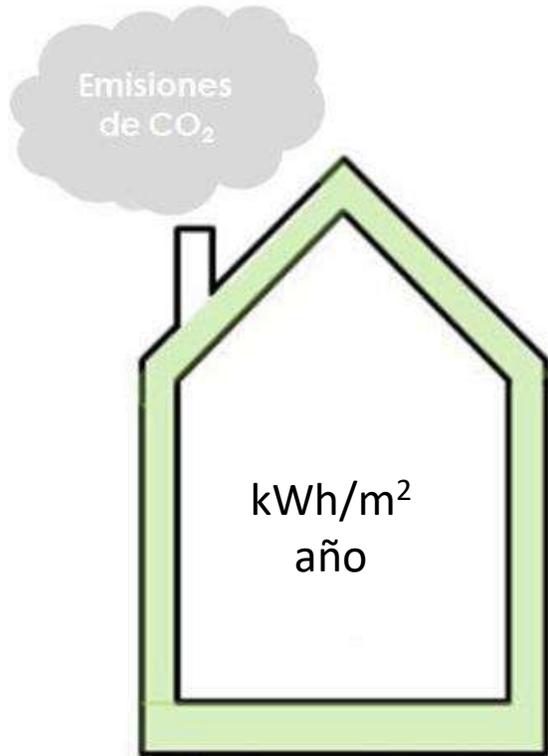
"Análisis de Ciclo de Vidas en Viviendas,
ejemplificación a partir de un análisis simplificado
en un caso de estudio"

Héctor Hernández L.
Septiembre 2018

Contenidos

- Contexto
- Definición del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) en una edificación
- Cómo llevar a cabo un ACV en una Edificación (Review)
- Ejemplificación a partir de un caso de estudio
- Conclusiones

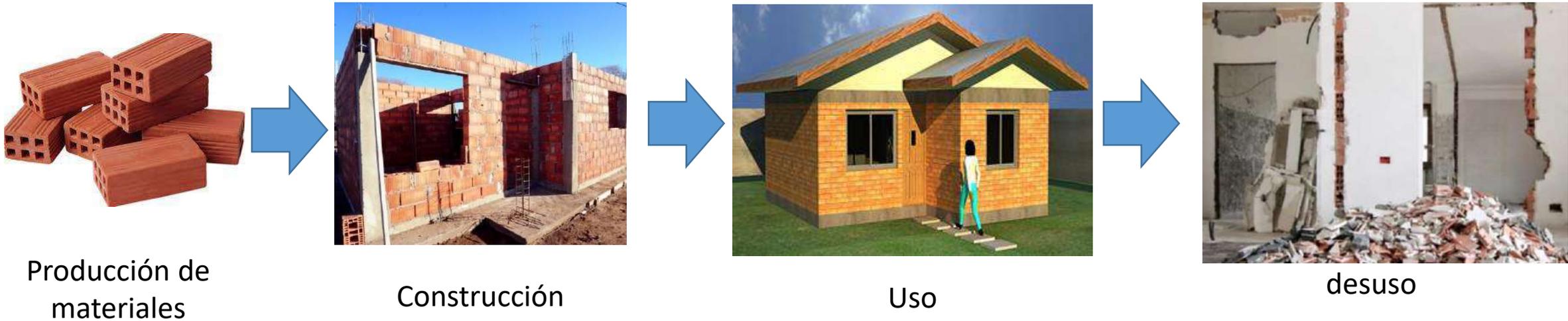
Contexto



- **Los edificios** representan alrededor del **40% del consumo mundial de energía y contribuyen con más del 30% de las emisiones de CO₂**. Donde una **gran parte de esta energía se utiliza para el confort térmico** en edificios. (Yang, Yan, & Lam, 2013)
- **75% del total de energía consumida por el sector edificación es residencial**, existiendo un gran potencial para mejorar la eficiencia energética del sector. (Nejata, Jomehzadeha, Taharib, Goharic, 2014)
- **ACV** es una herramienta de medición que permite evaluar el impacto ambiental, que es aceptada internacionalmente y que puede **aplicarse** a ampliamente, incluso en la **industria de la construcción**. Industria en la que su implementación es relativamente **reciente**. (Abd Rashid, Yusoff, 2015)
- En **Chile**, el ACV aplicado en edificación **es reciente** y los trabajos han estado enfocados a incorporar el concepto de energía incorporada (Cárdenas, Muñoz, Riquelme, Hidalgo, 2015)
- Los **ACV en edificios** se basan en la serie de **normas ISO 14040 con variaciones** para ajustarse a los diferentes objetivos y alcances de las evaluaciones (Abd Rashid, Yusoff, 2015)
- La aplicación del **ACV en edificios** es un **proceso complejo** debido a las diferencias que hacen a cada proyecto único en cuanto a atributos, clima, usuarios, etc. En los cuales, en general, se prioriza la evaluación las emisiones de dióxido equivalentes (Greenhouse Gas – **GHG**, responsables del calentamiento global; Global Warming Potencial, **GWP**) y la energía demanda acumulada (Cumulative Energy Demand **CED**) (Evangelista, Kiperstok, Torres, Gonçalves, 2018)

Definición del Análisis de Ciclo de Vida (ACV)

El Análisis del Ciclo de Vida (ACV) en una vivienda es un proceso objetivo que nos permite medir y evaluar las cargas ambientales asociadas al ciclo de vida de la edificación.

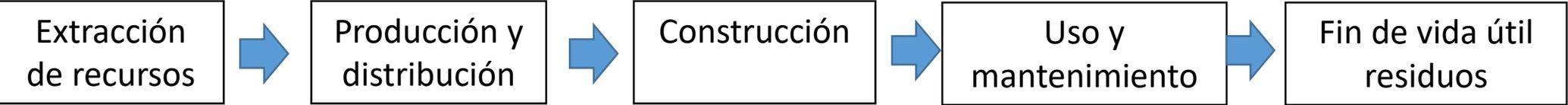


elementary flow

(1) material or energy entering the system being studied, which has been drawn from the environment without previous human transformation

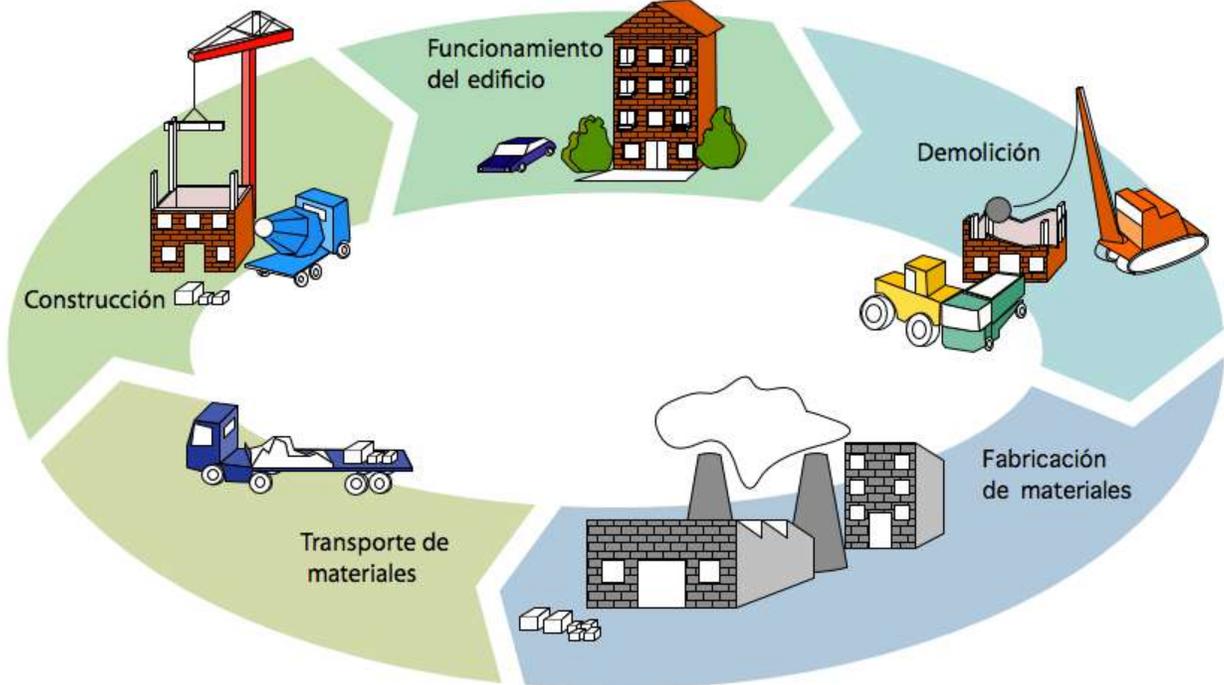
(2) material or energy leaving the system being studied, which is discarded into the environment without subsequent human transformation

El ACV de una edificación está asociado a la visión de economía circular



VISIÓN LINEAL DE LOS PROYECTOS

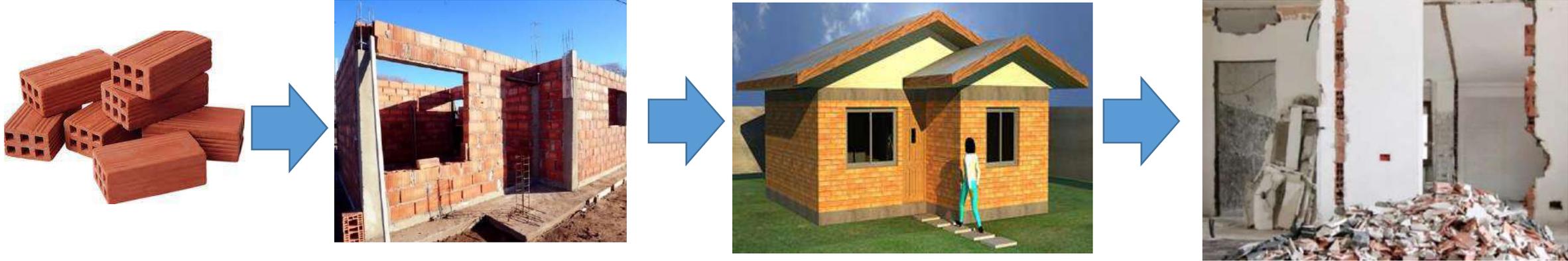
CICLO DE VIDA DE LA EDIFICACIÓN



VISIÓN CIRCULAR DE LOS PROYECTOS

El 2016 - CATALUÑA RECICLÓ EL 48% DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN

Existen múltiples mecanismos para reducir el impacto ambiental de las edificaciones



Producción de materiales

- Reciclaje
- Reducir energía
- Eficiencia
- Materiales más duraderos

Construcción

- Optimización
- Reducir energía
- Reciclaje
- Minimizar desechos

Uso

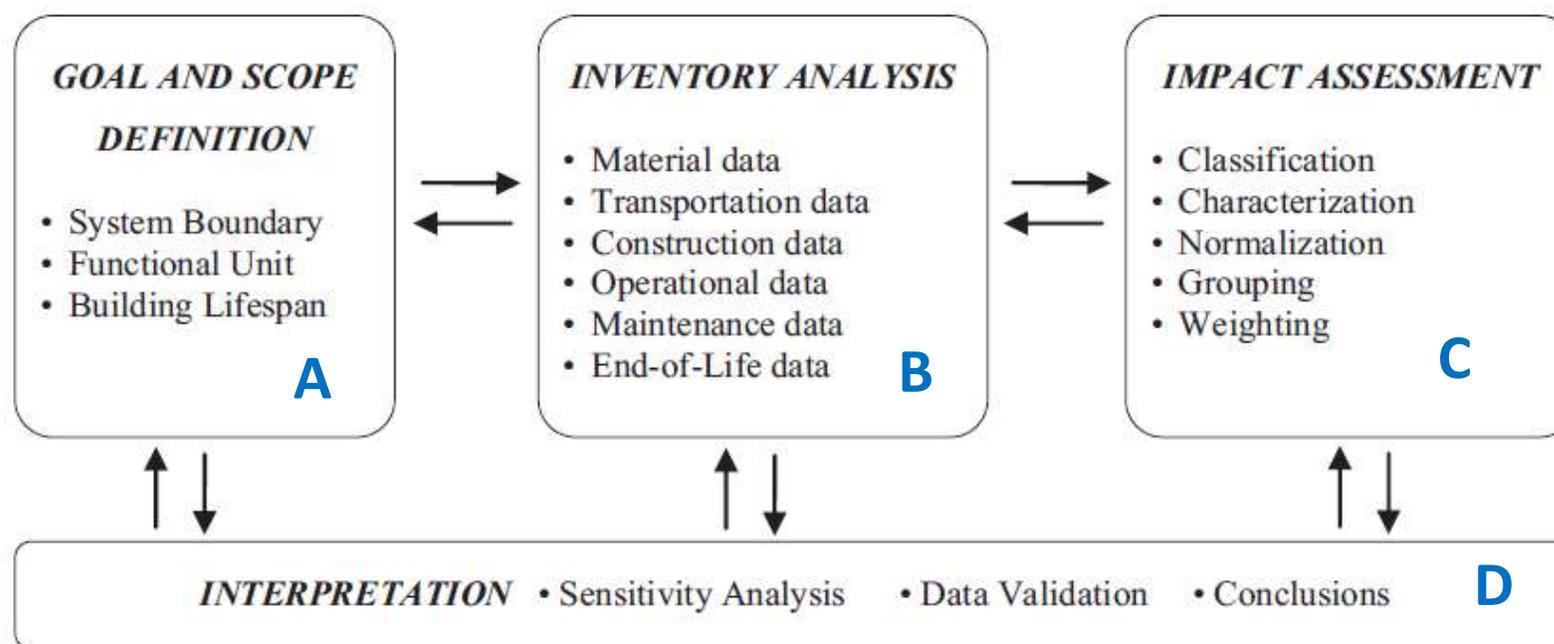
- Reducir consumo de energía
- Mantenimiento equipos
 - Domótica
- Diseños eficientes
- Diseños que requieran menos mantenimiento

Desuso

- Reciclaje
- Reutilizar
- Minimizar uso de energía y recursos

¿Cómo llevar a cabo un ACV en edificaciones?

El método para realizar un ACV se sustenta en la serie de norma ISO 14040, método que presenta variaciones en la evaluación de los edificios debido a la diversidad que estos presentan en función, materiales, tamaño, localización, entre otros. Sin embargo, la figura expuesta muestra una estructura propuesta adaptada para el sector edificación a partir de varias publicaciones científicas. (Adb Rashid, Yusoff, 2015)



LCA Framework for the building industry. Fuente: Adb Rashid, Yusoff (2015)

A. Objetivo y definición del alcance del ACV

Límites del sistema → en general desde la cuna (cradle) hasta la tumba (grave)

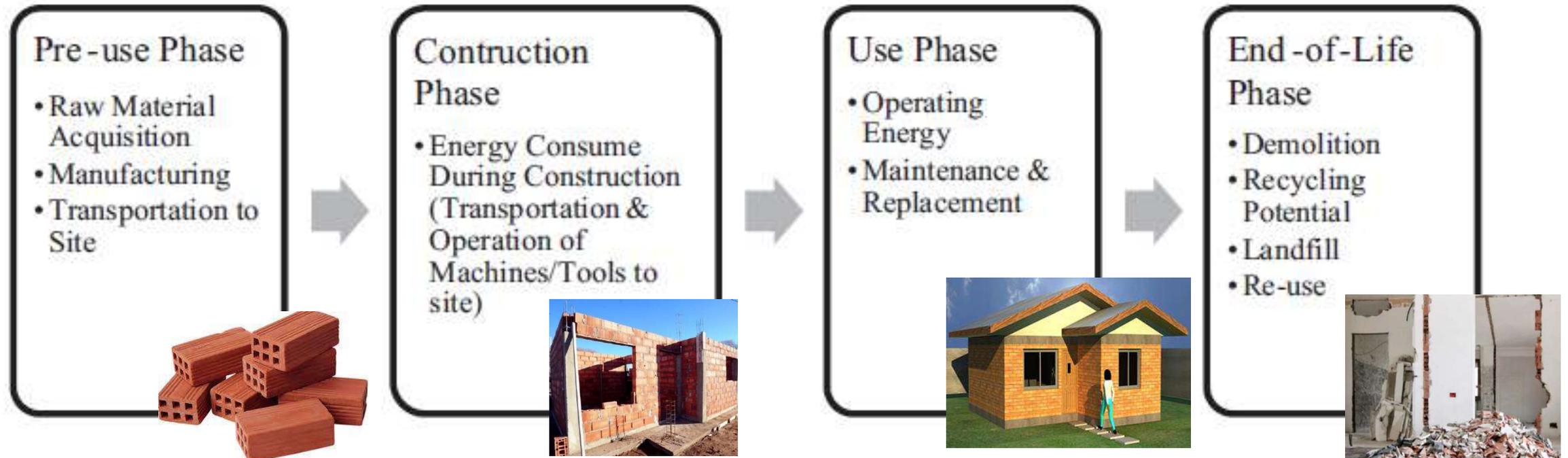
Unidad funcional → en general se adoptan m² / año

Horizonte de tiempo (Lifespan) → en general se adopta 50 años.

GOAL AND SCOPE DEFINITION

- System Boundary
- Functional Unit
- Building Lifespan

A



Límite del sistema de cuna a tumba en análisis de LCA de un edificio. Fuente: Adb Rashid, Yusoff (2015)

ACV en edificaciones pueden apoyarse con ayuda de programas

LCA software tools

Name	Focus
SimaPro	Generic LCA tool; Evaluate environmental performance of products and services; its Ecoinvent contain 2500+ process database
ATHENA	Contain North American database; specifically developed for buildings; allow user for comparisons among alternative
GaBi	Generic LCA tool; process-based LCA; widely adopted tool integrated with Economic cost
LISA	Australian based freely available streamlined tool; not allow users to add new case studies
LEGOE	Use by architects and engineers; integrated with a CAD tool
BEES	US based building material specification tool; applicable to LCA and LCC; not transparent



B. Análisis de Inventario (Data)

INVENTORY ANALYSIS

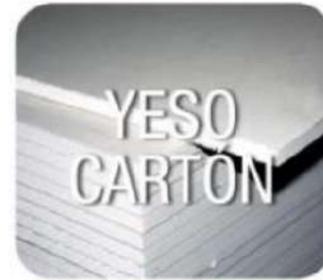
- Material data
- Transportation data
- Construction data
- Operational data
- Maintenance data
- End-of-Life data

B



LCI database			
Name	Description		
	Source	Region	Focus
Eco-Invent	Primary, BUWAL, ETH-ESU	Swiss and Western Europe	Generic; over 2500+ processes; includes uncertainty data and infrastructure
Athena's database	Primary	Canada and North America	Construction industry; 90+ processes—wood, steel, concrete and structural products
USA National LCI	Primary, Eco-Invent 2000	USA and North America	Basic processes to build upon in LCA studies
Australian LCI	Primary, various databases	Australia	Mostly AusLCI and LCA studies at RMIT University/centre for design and others
Canadian database	Primary	Canada and North America	Basic materials: aluminium, glass, plastics, steel and wood
Inventory of Carbon & Energy (ICE)	Secondary	Global	Inventory of embodied energy and carbon coefficient for building materials

¿Se puede usar cualquier base?



Barras de
refuerzo
(Kg)

1,89 Kg CO2 eq

Madera
Estructural
(M3)

28,2 Kg CO2 eq

H30 (M3)

229,1 Kg CO2 eq

ST 10mm (Kg)

0,289 Kg CO2 eq

Ladrillo
estructural
(Kg)

0,22 Kg CO2 eq

Perfiles
Laminados
(Kg)

0,56 Kg CO2 eq

Plywood
(M3)

124 Kg CO2 eq

H40 (M3)

293,24 Kg CO2 eq

RH 15mm (Kg)

0,281 Kg CO2 eq

Mezcla mortero
(M3)

237,98 Kg CO2 eq

RF 15mm (Kg)

0,28 Kg CO2 eq

MDF Secundarias
(M3)

468 Kg CO2 eq

Fuente: Resultados preliminares proyecto Ecobase (2015)

Main characteristics of the building components, including embodied energy (EE) and CO₂ emissions (EC).

Component	Material layers (from outside to inside)	Thermal conductivity (W/mK)	Thickness (m)	Density (kg/m ³)	Area (m ²)	EE (kWh/kg)	EC (kgCO ₂ /kg)
External wall (type ₁)	Cement rendering	1.60	0.03	2000	2120.30	0.16	0.09
	Extruded polystyrene	0.035	0.05	28	2120.30	23.60	2.51
	Aerated concrete block	0.193	0.20	580	2120.30	0.96	0.43
	Gypsum plaster	0.51	0.02	1200	2120.30	0.56	0.12
External wall (type ₂)	Cement rendering	1.60	0.03	2000	1839.60	0.16	0.09
	Extruded polystyrene	0.035	0.05	28	1839.60	23.60	2.51
	Reinforced concrete	2.50	0.20	2400	1839.60	0.55	0.20
	Gypsum plaster	0.51	0.02	1200	1839.60	0.56	0.12
Ground floor	Reinforced concrete	2.50	1.00	2400	552.57	0.55	0.20
	Concrete	1.65	0.03	2200	552.57	0.36	0.19
	Extruded polystyrene	0.035	0.04	35	552.57	23.60	2.51
	Concrete	1.65	0.03	2200	552.57	0.36	0.19
	Screed	1.40	0.05	2000	552.57	0.44	0.18
	Parquet	0.08	0.01	600	552.57	7.78	1.46
	Gravel	0.36	0.01	1840	510.00	0.01	0.00
Flat roof	Roofing felt	0.19	0.0017	960	510.00	21.60	1.92
	Expanded polystyrene	0.033	0.05	30	510.00	354.00	39.30
	EPDM	0.30	0.006	1200	510.00	27.40	3.08
	Concrete	1.65	0.04	2200	510.00	0.36	0.19
	Reinforced concrete	2.50	0.14	2400	510.00	0.55	0.20
	Gypsum plaster	0.51	0.02	1200	510.00	0.56	0.12
	Clear glazing	1.00	0.004	2500	800.36	4.42	0.96
Window	Air	-	0.012	1.29	-	-	-
	Clear glazing	1.00	0.004	2500	800.36	4.42	0.96
	PVC frame	0.17	0.060	1390	239.07	39.8	7.23

Fuente: S.D. Mangan, G.K. Oral (2016)

B. Análisis de Inventario (Data)

Varios métodos propuestos por los investigadores, algunos usan distancias promedio desde los proveedores hasta el sitio, otros los proveedores más cercanos o promedios nacionales, otros establecen supuestos para determinar las distancias.

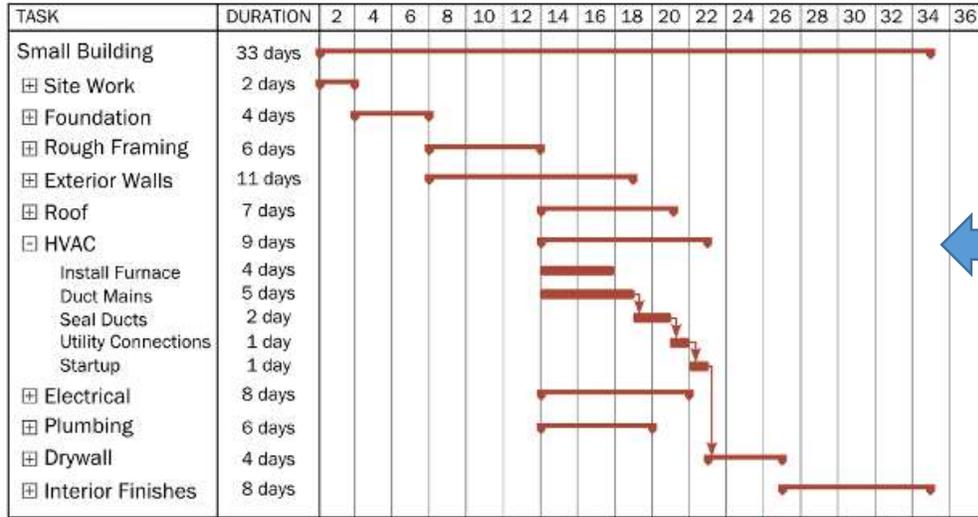
INVENTORY ANALYSIS

- Material data
- Transportation data
- Construction data
- Operational data
- Maintenance data
- End-of-Life data

B

Life cycle phase	Material	Distance supplier/Construction site	Distance construction site/Landfill
Construction	Cement	50 km	–
Construction	Ceramic tile	50 km	–
Construction	Other materials	15 km	–
Maintenance	Replacement materials	15 km	–
All phases	Solid waste disposal	–	25 km × 2 = 50 km

B. Análisis de Inventario (Data)



INVENTORY ANALYSIS

- Material data
- Transportation data
- Construction data
- Operational data
- Maintenance data
- End-of-Life data

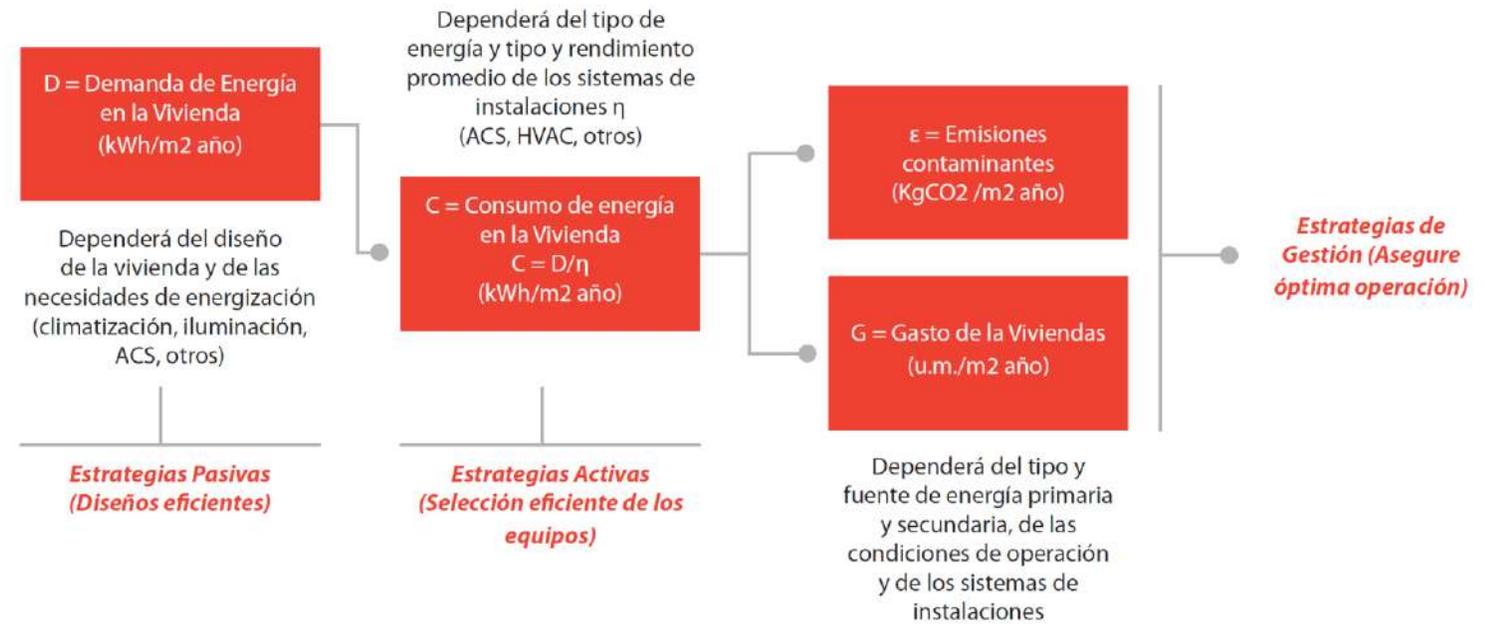
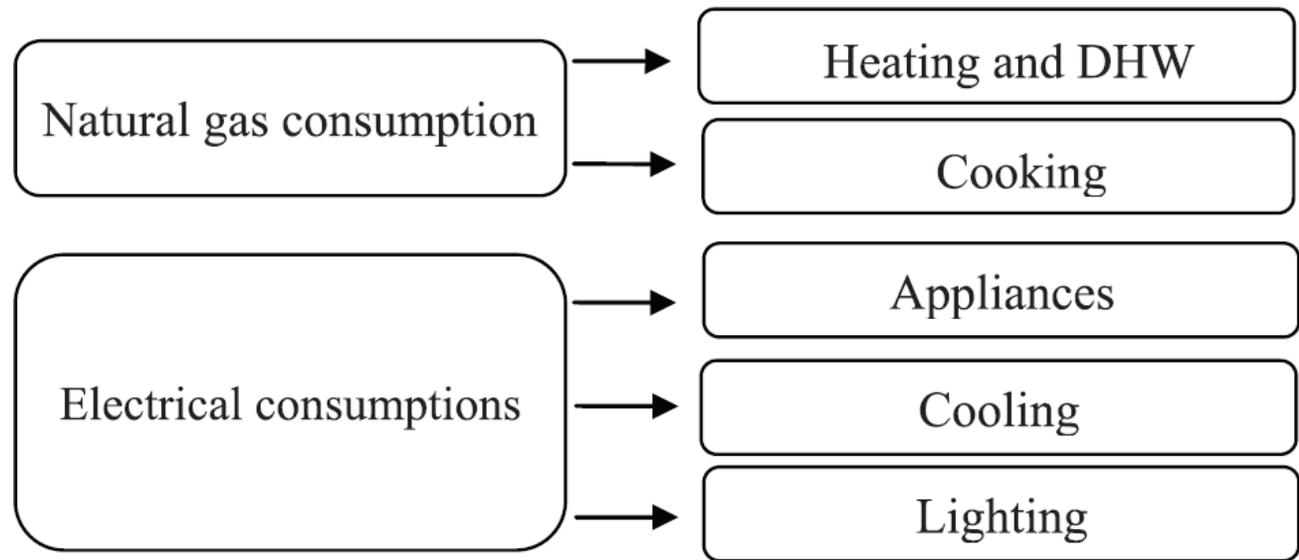
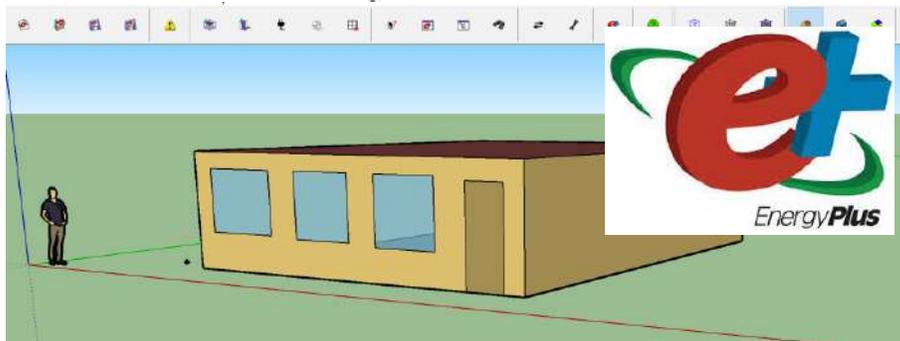
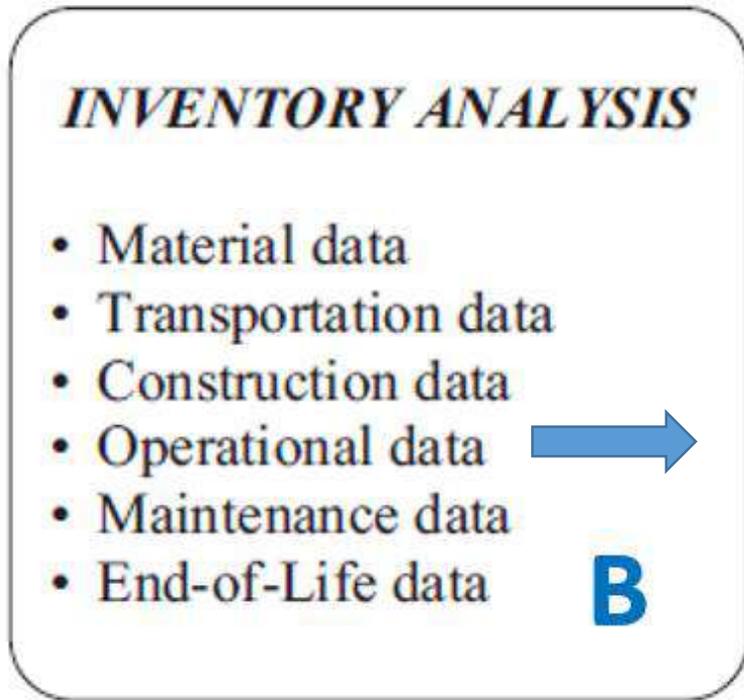
B



Definidos en los documentos del proyecto (Planos, EETT, etc.) o su planeación (presupuesto, programa de trabajo, etc.)

Esta información definirá los recursos utilizados (materiales, maquinarias, equipos, etc.) y sus impactos derivados de las operaciones de construcción.

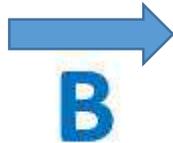
B. Análisis de Inventario (Data)



B. Análisis de Inventario (Data)

INVENTORY ANALYSIS

- Material data
- Transportation data
- Construction data
- Operational data
- Maintenance data
- End-of-Life data

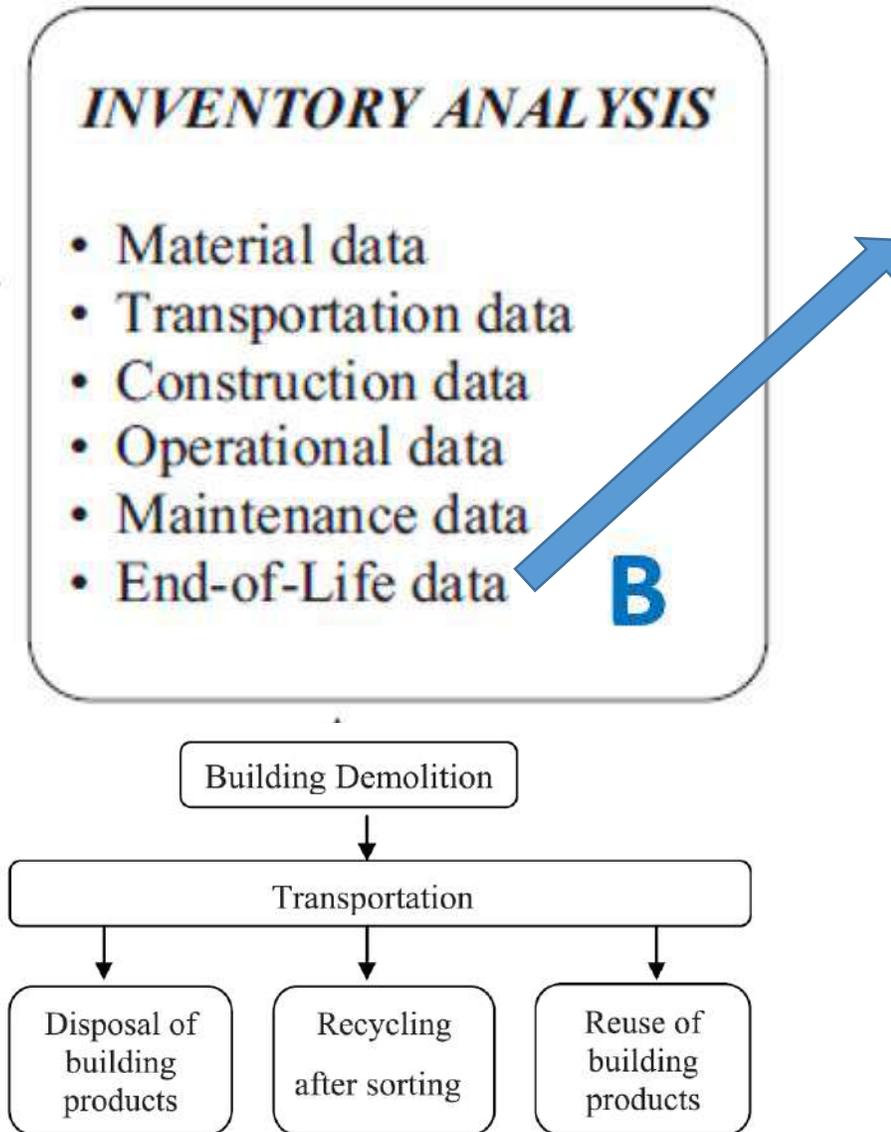


Se sugieren actividades de mantenimiento que incluyen el pintado, cambio cubierta, cambios de revestimientos, reemplazo de muebles de baños y cocinas, reemplazos de accesorios eléctricos, etc.

En general, cambio de ventanas, cubierta de techo y repintado exterior e interior. En este caso simplificado no fue considerado.

El requerimiento de mantención dependerá de cada proyecto.

B. Análisis de Inventario (Data)



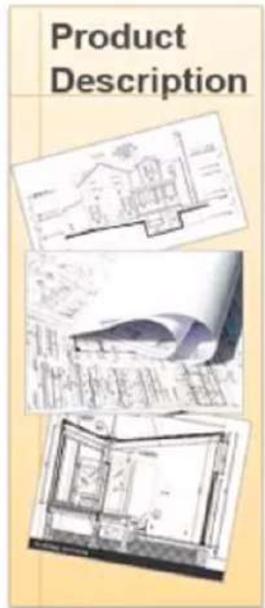
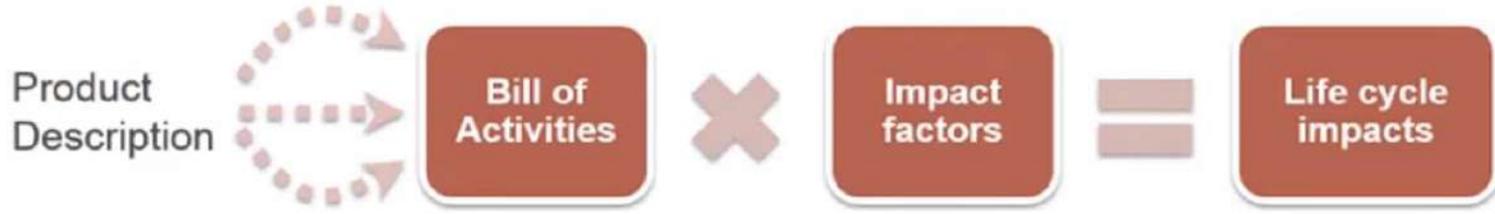
Poco frecuente en ACV simplificados, investigaciones recientes identifican que es significativa debido al potencial de reciclaje de los materiales de construcción, por lo tanto, disminuye el impacto del ciclo de vida.

Stage	Module	Simplified LCA methodology: stages included
Product stage	Raw materials supply	Yes
	Transport	Yes
	Manufacturing	Yes
Construction process stage	Transport	No
	Construction-installation on-site processes	No
Use stage	Maintenance	No
	Repair and replacement	No
	Refurbishment	No
	Operational energy use: heating, cooling, hot water (and lighting – only for large tertiary buildings)	Yes
	Operational water use	No
End-of-life stage	Deconstruction	No
	Transport	No
	Recycling/re-use	No
	Disposal	No

IMPACT ASSESSMENT
C



INTERPRETATION • Sensitivity Analysis • Data Validation • Conclusions **D**



- Bill-of-Activities**
- Kg of timber
 - Kg of steel
 - Kg of glass
 - ...
 - Km of trucktag
 - ...
 - kWh of elec
 - MJ of nat gas
 -



- Impact Factors**
- GWP per kg of timber
 - GWP per kg of steel
 - ...
 - Ozone per km of trucking
 - ...
 - Acidification per



- Lifecycle Impacts**
- GWP
 - Ozone potential
 - Resource depletion
 - ...

Los indicadores ambientales varían entre los ACV, dependen de objetivos.

Gases de efecto invernadero (KgCO₂eq) (GHG -Greenhouse gas) y la **Energía demanda acumulada (kWh)** (CED cumulative energy demand) son los indicadores más frecuentemente.

Algunos ACV en edificios incorporan el uso de agua, residuos sólidos, eutrofización, acidificación, entre otros.

Ejemplificación

¿Impacto ambiental de albañilería a madera?



Objetivo: Analizar el impacto ambiental del cambio de solución constructiva en muros, de albañilería a tabiquería en madera. (restricciones: OGUC y presupuestaria)

Unidad Funcional: m^2 / año

Horizonte de análisis: 50 años

Límites del sistema: De la cuna al tumba simplificado

¿Simplificado?

Etapas de producto SÍ (Energía incorporada y emisiones)

Etapas de construcción SÍ, energía y emisiones asociadas al transporte de materiales y al uso de maquinaria y equipos

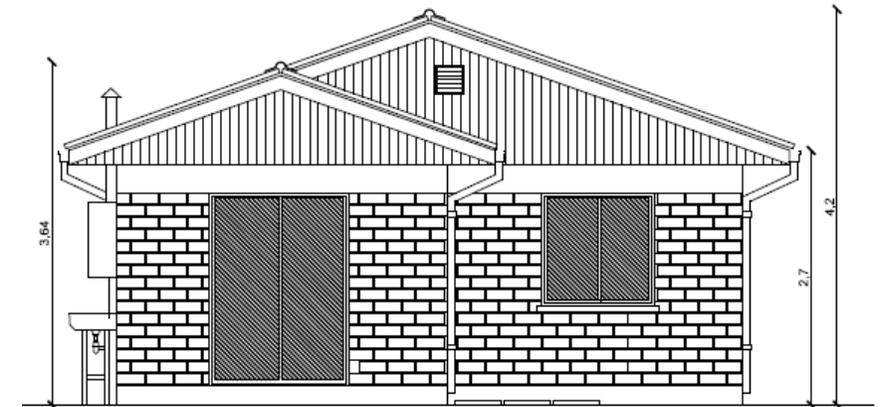
Etapas de operación SÍ, solo calefacción y refrigeración a través de análisis estacionario. No se incluyen: mantenimiento, ACS, uso de equipamiento.

Etapas de desuso NO

Indicadores ambientales

KgCO₂eq /m² año (GHG)

kWh/m² año (CED)

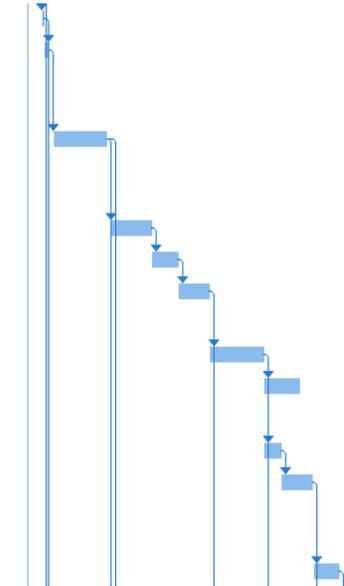


ELEVACION NORTE ESC. 1:50

Para ambos casos:

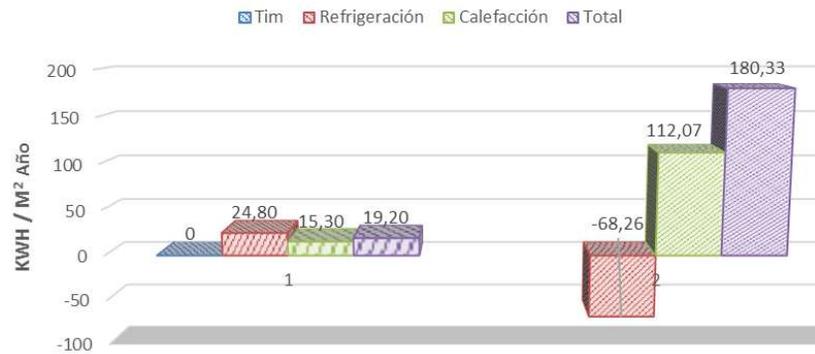
- Planeación → actividades asocian recursos (maquinaria, equipos y materiales) utilizados y su impacto.
- Análisis energético estacionario (U envolvente, 4 personas).
- Se supuso distancia promedio para los transportes.
- Cubicación del proyecto + pérdida del 5%.

Base (Cama de Ripio) 10 cm.	0,5 días	lun 28/05/18	lun 28/05/18	8
Hormigón H15 + Aditivo impermeabilizante + Endurecedor Superficial, e=8 cm.	1 día	lun 28/05/18	mar 29/05/18	10
ALBAÑILERIA				
Ladrillo Hecho A MÁQUINA Santiago Te7 (320x154x94 mm)	8 días	mié 30/05/18	lun 11/06/18	11FC+1 día
MUROS 1 PISO HORMIGON ARMADO				
Enfieradura Cadenas Ø 12 mm Ø 6 mm.	7 días	mar 12/06/18	jue 21/06/18	13FC+1 día
Moldaje CADENA / VIGA (3 Usos)	4 días	jue 21/06/18	mié 27/06/18	15
Hormigón Cadenas H20	5 días	mié 27/06/18	mié 04/07/18	16
Madera				
Entramado Tabique IPV 2"x3" + ETSAPOL	8 días	mié 04/07/18	lun 16/07/18	17
Colocacion planchas volcanica	6 días	lun 16/07/18	mar 24/07/18	19
CUBIERTA (Inc. Cumbreras)				
Madera CERCHAS + COSTANERAS	4 días	lun 16/07/18	vie 20/07/18	19
Acero Galvanizado ZINC ONDULADO ALUMINIO e= 0,35 mm.	5 días	vie 20/07/18	vie 27/07/18	22
Hojalatería				
Canaletas	4 días	vie 27/07/18	jue 02/08/18	23



	ÁREA m ²	U W/m ² °C
VENTANAS	7,0	5,8
MUROS	57,0	1,7
PUERTAS	4,5	1,5
CIELO	50,50	0,47
	L (m)	K _i (W/m K)
PISO	28,46	1,4

ANÁLISIS ESTACIONARIO



	1	2
Tim	0	
Refrigeración	24,80	-68,26
Calefacción	15,30	112,07
Total	19,20	180,33

KWH / M² Año

MATERIALES		
ALBAÑILERIA		MADERA
FUNDACIONES		FUNDACIONES
Excavaciones		Excavaciones
...		...
MUROS 1 PISO		MUROS 1 PISO
Hormigón Armado		Tabique exterior
Hormigón Cadenas H20		Pie derecho, pino 2x2"
Enfieradura Cadenas Ø 12 mm Ø 6 mm.		Solera inferior e superior pino 2x2"
Moldaje CADENA / VIGA		Tablero terciado ranurado
Albañilería		Placa de yeso carton 15mm y RF12.5mm
Ladrillo fiscal (290x140x94 mm)		Madera
Tensores Ø 10		Entramado Tabique IPV 2"x3" + ETSAPOL
Madera		CUBIERTA (Inc. Cumbreras)
Entramado Tabique IPV 2"x3" + ETSAPOL		Madera CERCHAS + COSTANERAS
CUBIERTA (Inc. Cumbreras)		CUBIERTA (Inc. Cumbreras)
Madera CERCHAS + COSTANERAS		Acero Galvanizado ZINC ONDULADO ALU
CUBIERTA (Inc. Cumbreras)		Hojalatería
...		...



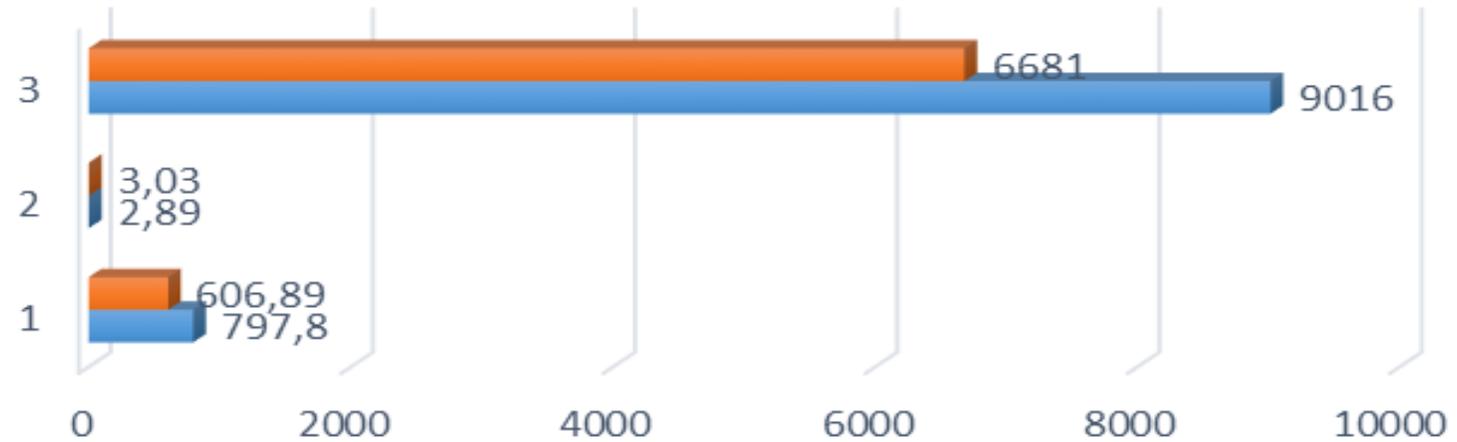
Resultados Energía Demandada Acumulada (CED) - ACV simplificado

ENERGÍA EN CADA ETAPA POR VIVIENDA						
TIPO	Área (m ²)	Contenida	Proceso de construcción			Operación
		Materiales (kWh)	Electricidad (kWh)	Gasolina (kWh)	Diesel (kWh)	Calefacción (kWh/50yr)
Albañilería	50,5	40.289,11	92,54	11,62	41,6	455.333,25
kWh / m ²		797,80	2,89			9016,50
Incidencia (%)		8,13%	0,03%			91,84%
Madera	50,5	30.647,99	99,76	11,62	41,6	337.390,50
kWh / m ²		606,89	3,03			6681
Incidencia (%)		8,32%	0,04%			91,63%

Resultados Energía acumulada demanda - ACV simplificado (50 años)

ENERGÍA EN CADA ETAPA POR VIVIENDA

Fases del ACV Simplificado



	1	2	3
■ Vivienda de Madera	606,89	3,03	6681
■ Vivienda de Albañilería	797,8	2,89	9016

KWH / M².

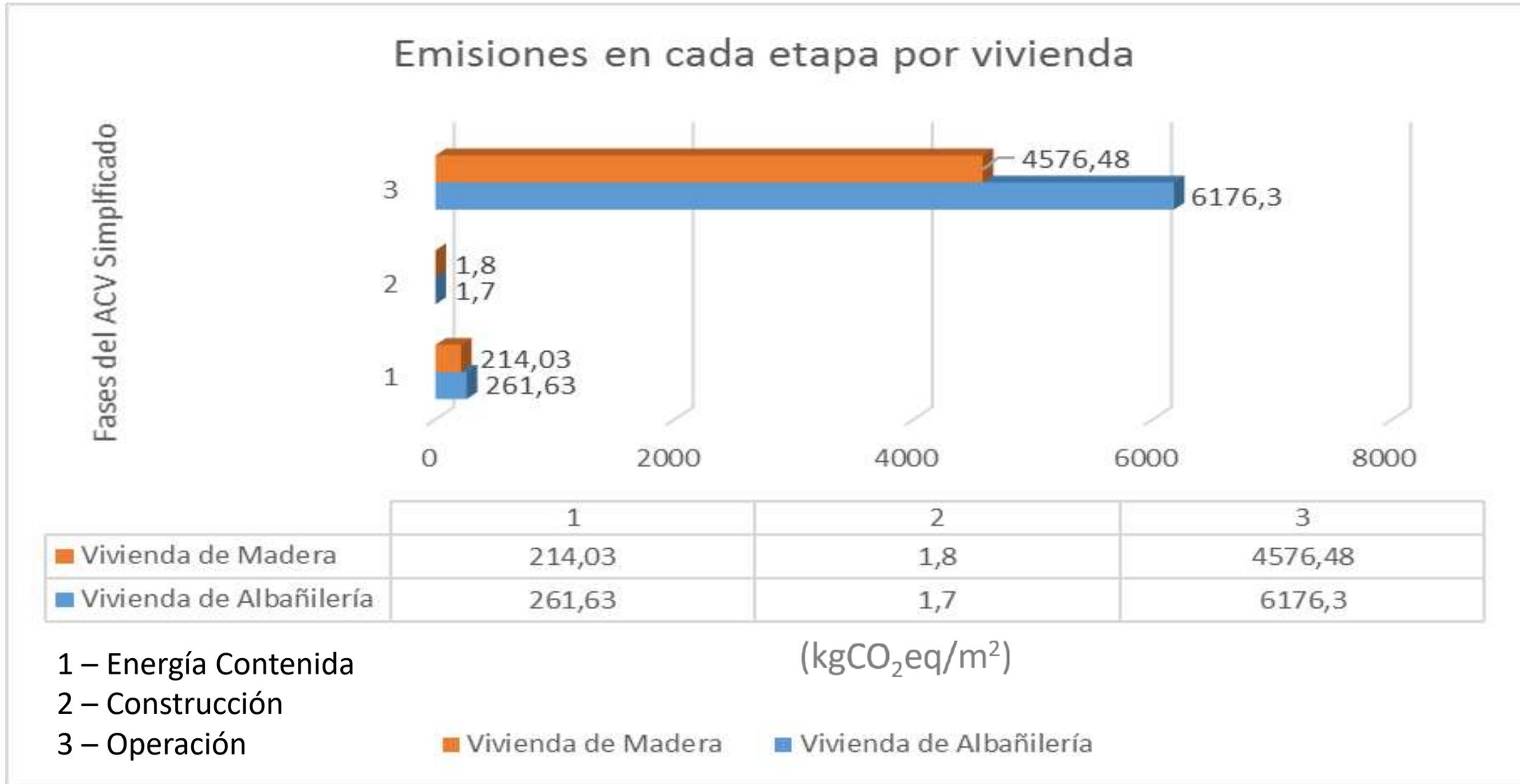
- 1 – Energía Contenida
- 2 – Construcción
- 3 – Operación

■ Vivienda de Madera ■ Vivienda de Albañilería

Resultado de emisiones contaminantes - GHG

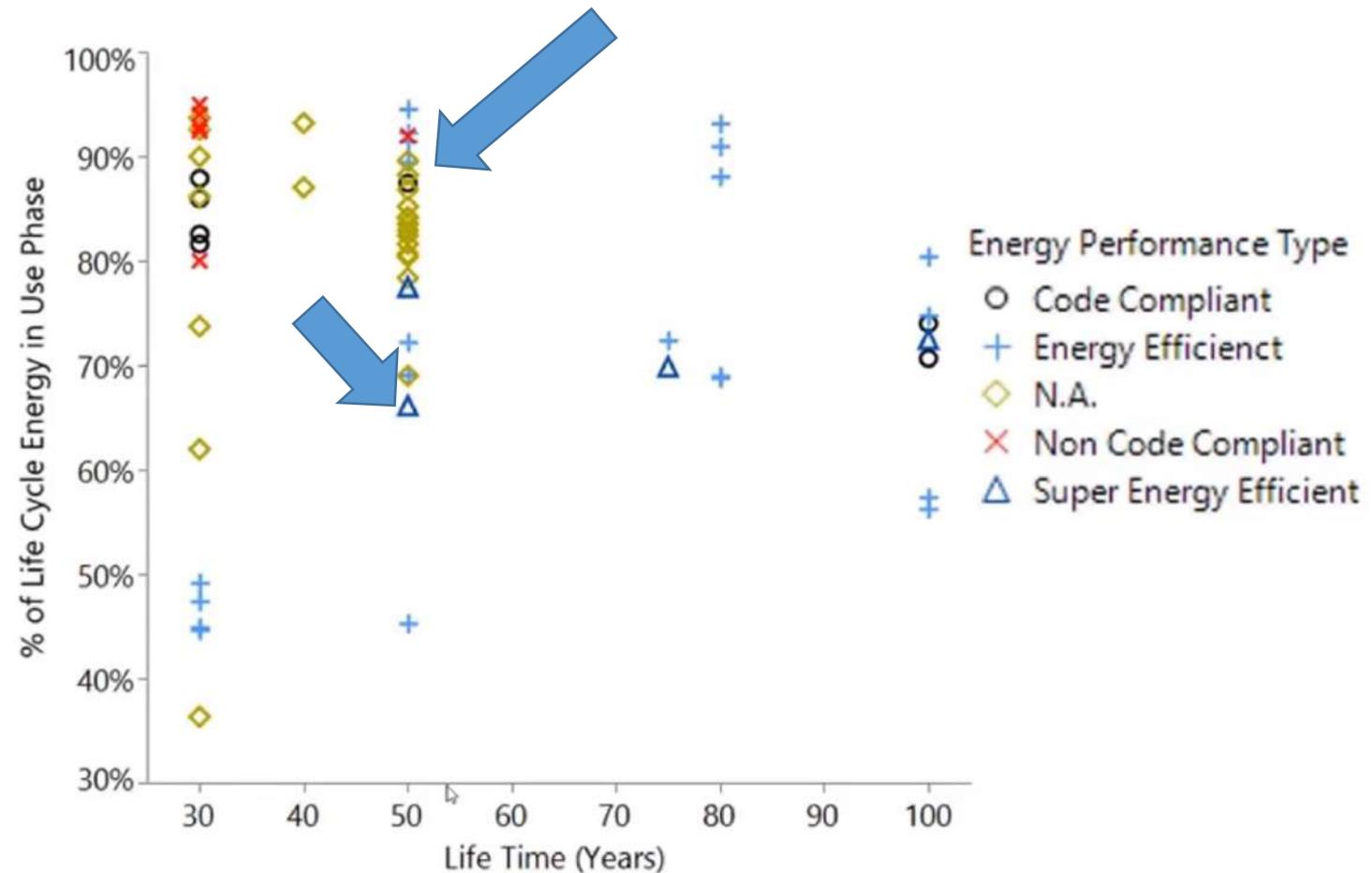
EMISIONES EN CADA ETAPA POR VIVIENDA						
TIPO	Área (m ²)	Contenida	Proceso de construcción			Operación
		Materiales (kgCO ₂ eq)	Electricidad (kgCO ₂ eq)	Gasolina (kgCO ₂ eq)	Diesel (kgCO ₂ eq)	Calefacción (kgCO ₂ eq/50yr)
Albañilería	50,5	13212,55	63,38	11,62	11,35	311.903,27
kgCO ₂ eq/ m ²		261,63	1,71			6176,30
Incidencia (%)		4,06%	0,03%			95,91%
Madera	50,5	10.808,62	68,33	11,62	11,35	231.112,49
kgCO ₂ eq/ m ²		214,03	1,81			4576,48
Incidencia (%)		4,47%	0,04%			95,50%

Resultados emisiones contaminantes (kgCO₂eq/m² – GHG), 50 años



GHG	CED
<ul style="list-style-type: none"> Construction 31–43% Operation 53–68% Maintenance 4–6% Disposal – 1 to – 5% 	<ul style="list-style-type: none"> Construction 31–44% Operation 52–64% Maintenance 5–6% Disposal (– 1 to – 3%
<ul style="list-style-type: none"> Construction, maintenance and disposal ranged 7–24% Operation 76–93% 	<ul style="list-style-type: none"> Construction, maintenance and disposal 4–18% Operation 82–96%
<ul style="list-style-type: none"> Construction 47% Operation 51% Disposal (2%) 	<ul style="list-style-type: none"> Not specified
<ul style="list-style-type: none"> Construction 3–5% Operations 90% 	<ul style="list-style-type: none"> Not specified
<ul style="list-style-type: none"> Construction 14–21% Operation 67–72% Maintenance 7–11% Disposal 3–5% 	<ul style="list-style-type: none"> Construction 14–20% Operation 68–77% Maintenance 6–13% Disposal 1–2%
<ul style="list-style-type: none"> Construction 9% Operation/use 90% Disposal 1% 	<ul style="list-style-type: none"> Not specified
<ul style="list-style-type: none"> Construction 8–28% Operation/use 69–91% Disposal 1–3% 	<ul style="list-style-type: none"> Not specified

¿Las incidencias se ajustan a resultados esperados?



Conclusiones

- Se logró contextualizar la metodología de ACV, la que permite evaluar los impactos ambientales en edificaciones objetivamente.
- La vivienda en madera presentó un mejor desempeño ambiental en las fases de mayor impacto (Etapa de Operación)
- Un estudio en Chile muestra que las incidencias promedio para la energía demandada acumulada, en 4 casos de estudio, fue de 9,05% para la fase de pre-uso (energía contenida), 0,17% para la fase de construcción y 90,75% para la operación (Cardenas, Muñoz, Riquelme & Hidalgo, 2015), evidenciando resultados congruentes. Esto es análogo para las emisiones de CO₂ equivalentes.
- Debido a la falta de datos de inventario ambiental para los materiales de construcción en Chile, se hace necesario recurrir a bases internacionales para complementar dicha información.
- Se hace difícil contrastar resultados con otras investigaciones, pues estos están fuertemente influenciados por los objetivos y alcances del ACV y, por las características diversas de los edificios y sus localizaciones geográficas.
- La revisión bibliográfica muestra que a mayor eficiencia de las viviendas, la incidencia de la etapa de operación cae.

"Análisis de Ciclo de Vidas en Viviendas,
ejemplificación a partir de un análisis simplificado
en un caso de estudio"

Héctor Hernández L.
Septiembre 2018