

## CICLO DE VIDA. VALORACIÓN DE MATERIALES CONSTRUCTIVOS EN LA VIVIENDA SOCIAL DE ZONAS ÁRIDO-SÍSMICAS

### LIFE CYCLE. ASSESSMENT OF CONSTRUCTION MATERIALS IN THE SOCIAL HOUSING OF ARID-SEISMIC ZONES.

*Analia Alvarez, Verónica Ripoll Meyer*

Instituto de Estudios en Arquitectura Ambiental (INEAA), Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño (FAUD), Universidad Nacional de San Juan (UNSJ), San Juan, Argentina.

aalvarez@unsj.edu.ar.

#### RESUMEN

Este artículo analiza los materiales característicos de los sistemas constructivos racionalizados propios de zonas árido-sísmicas en relación con las emisiones de dióxido de carbono asociadas a los mismos durante su producción, uso y disposición final. Para ello, se construye una matriz de optimización multiobjetivo (MOM) que facilita la estimación temprana, a lo largo de su ciclo de vida, de las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas a la materialización y emplazamiento de la vivienda social en zona árido-sísmica. Su desarrollo involucra la determinación del indicador de cambio climático de cada uno de los componentes constructivos, así como también la energía incorporada total y la transmitancia térmica de los mismos. Con dichos valores, se realiza la ponderación de cada uno de los componentes constructivos considerados, a partir del uso del proceso analítico jerárquico. En relación con los distintos casos de estudio analizados, se concluye que los criterios que sustentan la materialización de la vivienda social desestiman parámetros ambientales y de confort higrotérmico. De manera que, la herramienta desarrollada permite empoderar a los usuarios de dichas viviendas, para que puedan ejercer su derecho a una vivienda digna y a un ambiente sano, equilibrado y apto para el desarrollo humano.

#### ABSTRACT

This article analyzes the characteristic materials of the rationalized construction systems typical of arid-seismic zones in relation to the carbon dioxide emissions associated with them during their production, use and final disposal. For this, a multiobjective optimization matrix (MOM) is built that facilitates the early estimation, throughout its life cycle, of the CO<sub>2</sub> emissions associated with the materialization and location of social housing in the arid-seismic zone. Its development involves the determination of the climate change indicator of each of the construction components, as well as the total incorporated energy and their thermal transmittance. With these values, the weighting of each of the construction components considered is made, based on the use of the hierarchical analytical process. In relation to the different case studies analyzed, it is concluded that the criteria that support the materialization of social housing disregard environmental parameters and hygrothermal comfort. So, the tool developed allows the users of these homes to be empowered, so that they can exercise their right to decent housing and a healthy, balanced and fit environment for human development.

**PALABRAS CLAVES:** Emisiones de Dióxido de Carbono, Hábitat Social, Matriz Multiobjetivo, Sistemas Constructivos Racionalizados.

**KEY WORDS:** Carbon Dioxide Emissions, Social Habitat, Multiobjective Matrix, Rationalized Building Systems.

Artículo RECIBIDO: 19/07/19 | Artículo ACEPTADO: 10/11/19

## INTRODUCCIÓN

De acuerdo con, Garrido Piñero (2015) la incorporación de la dimensión urbana dentro de la construcción del paradigma del desarrollo sustentable ha cobrado importancia como resultado de las amenazas ambientales asociadas a la alta densidad poblacional y sus respectivos patrones de consumo. Asimismo, Zabalza Bribián et al. (2014) expone que el uso masivo de materiales generalizados a nivel mundial, ha causado un incremento notable de los costes energéticos y ambientales de cualquier tipología edilicia. Por ello, Carabaño et al. (2017) considera necesaria la caracterización de los materiales de la construcción a nivel medioambiental. En este sentido, Corona Bellostas (2016) sugiere que contar con herramientas que permitan cuantificar el nivel de sustentabilidad de los productos y servicios es fundamental para que la actividad humana se desarrolle beneficiosamente tanto para la sociedad como para la preservación del ambiente. Al respecto, Basbagill et al. (2013) y Röck et al. (2018) exponen que la realización de un análisis del ciclo de vida (ACV) en etapas iniciales de diseño permite alcanzar un panorama completo de los impactos ambientales asociados a la construcción. En esta dirección, implementar el Cradle to Cradle como paradigma de desarrollo socio-económico de diseño, implica considerar todos los materiales involucrados en el proceso como nutrientes (Ros García et al., 2017). Para ello, es necesario incorporar sistemas de «logística inversa» cuyo objetivo sea la recuperación de los materiales de una manera efectiva y eficiente.

Con base en lo antedicho, se espera que los resultados alcanzados permitan optimizar, a partir de la estimación temprana del impacto en el cambio climático de la solución constructiva adoptada, los procesos que intervienen en los modelos de ciclo de vida de los distintos materiales que conforman los sistemas constructivos racionalizados de la oferta edilicia característica de la vivienda social en zonas árido-sísmicas.

## SUSTENTABILIDAD DE LOS MATERIALES CONSTRUCTIVOS EN ZONAS ÁRIDO-SÍSMICAS

Se define como material sustentable aquel cuyo proceso de extracción, manufactura, operación y disposición final tiene un impacto ambiental bajo o inexistente (sustentabilidad ambiental). Asimismo, su elaboración y distribución es económicamente viable (sustentabilidad económica) en tanto su vida útil no compromete la calidad de vida de los seres vivos que estén de alguna manera relacionados con él (sustentabilidad social) (Delgado Castillo & Velázquez Flores, 2012). Al respecto, si se analiza el nivel de sustentabilidad de los distintos componentes arquitectónicos seleccionados para el análisis, conforme a su uso en la materialización de la vivienda de interés social, su importancia relativa en la cadena de valor de los materiales de la construcción en un país en vías de desarrollo como Argentina y los impactos generados durante su producción, se obtiene que los **materiales típicos de un sistema constructivo tradicional racionalizado en una zona árida como la ciudad de San Juan presentan un nivel medio de sustentabilidad.**

## LINEAMIENTOS PARA EL ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA

En respuesta a lo establecido en la ISO 14040/20065, ISO 14044/20066 y la IRAM 21931-1/12, las diferentes fases que intervienen en un ACV, en esta investigación, quedan definidas conforme al siguiente detalle:

**A- Objetivo y alcance:** dado que, el calentamiento global es uno de los impactos con mayor influencia negativa sobre el ambiente (Ali *et al.*, 2015), se propone la realización de un análisis del ciclo de vida simplificado. Por tanto, se circunscribe el estudio a la cuantificación de la huella de carbono de los materiales involucrados en la concreción de viviendas sociales en zonas árido-sísmicas. Al respecto, se adopta como:

- **Límite espacial:** las viviendas sociales del Área Metropolitana de San Juan (AMSJ) desarrolladas por el Instituto Provincial de la Vivienda repartición San Juan entre 2010-2015.
- **Límite Temporal:** de acuerdo con la IRAM 21931-1/12, el ACV propuesto corresponde a una mirada “de la fábrica a la tumba”.
- **Unidad Funcional:** se adopta el metro cuadrado (m<sup>2</sup>), se considera una vida útil de 50 años y se orienta el estudio a aquellos actores (decisores y ocupantes) que intervienen en el proceso de construcción del hábitat social.
- **Limitaciones:** quedan fuera del análisis la etapa de extracción y procesamiento de la materia prima. Para el cálculo de la energía incorporada por elemento y de acuerdo con el material que se adopte, se considera que:
  1. El transporte (puesto de venta – obra) es realizado por un camión eje simple 4x2, carga útil de 7 toneladas con un consumo estimado de 6km/l de gasoil.
  2. La distancia promedio desde el punto de venta a la obra es de 4,34km. La misma se obtiene de considerar las características de la trama urbana AMSJ.
  3. Los consumos de energía durante la etapa previa a la entrega, se obtienen de fuentes primarias de información.
  4. Los consumos de energía en la etapa posterior a la entrega para climatización se calculan conforme a las IRAM 11604 (calefacción) e IRAM 11659-1 y 2 (refrigeración). Con base en las características urbanas del AMSJ, para la estimación de las emisiones resultantes de transporte en fase de uso, se considera que mínimamente se realizan cuatro viajes al centro de la ciudad por día.
- **Usuarios:** los usuarios de mayor intervención en la toma de decisiones en relación a la selección de la materialidad de la vivienda son el Inversor/Cliente/Propietario, el Diseñador (Arquitecto/Ingeniero) y los organismos gubernamentales y no gubernamentales encargados de la regulación y cumplimiento del marco normativo en relación con la construcción.

**B- Análisis del inventario:** para la **cuantificación del CO<sub>2</sub>**, se coteja lo que Quispe Gamboa (2016) denomina la *Energía Incorporada “EI”* (etapa previa) y la *Energía Operativa “EO”* (etapa de uso). La energía incorporada, se corresponde con la energía consumida para el transporte y fabricación de los componentes arquitectónicos por cada metro cuadrado de construcción de los mismos. La energía operativa, se extrae de la consideración conjunta de energía necesaria para calefacción y refrigeración y de las emisiones asociadas al transporte durante la vida útil de la vivienda. La etapa de fin de vida, se mide a partir de las emisiones asociadas al transporte de los residuos de la construcción y demolición desde la obra hasta el vertedero.

<sup>5</sup> <https://web.stanford.edu/class/cee214/Readings/ISOLCA.pdf>

<sup>6</sup> <http://wap.sciencenet.cn/home.php?mod=attachment&id=4637>

Con base en lo antedicho, la cuantificación del CO<sub>2</sub> se obtiene de:

$$\text{Emisiones Totales Vivienda} = EI_T + EO + T_{DF} \text{ [Kg CO}_2 \text{ eq/kWh]}$$

$$EI_T = (EI_{TPM} * FE) + (EI_{TTM} * FE) \text{ [kg CO}_2 \text{ eq/kWh]}$$

$$EO = (E_r * FE) + (E_c * FC * FE) + T \text{ [kg CO}_2 \text{ eq/kWh]}$$

$$T_{DF} = (C_{cc} * FC * FE) * C_{VFD} \text{ [kg CO}_2 \text{ eq/kWh]}$$

Donde:

A<sub>a</sub>: Autonomía automóvil familiar (0.734km/l<sup>7</sup>).

$$EI_{TPM} = \sum EI_i * m_i \text{ [kWh]}$$

$$EI_{TTM} = Com_{nec} * FC \text{ [kWh]}$$

$$T = [(C_{ca} * C_{vd}) * V_U] * FC * FE \text{ [kg CO}_2 \text{ eq/kWh]}$$

$$Com_{nec} = C_{cc} * C_v \text{ [l]}$$

$$C_v = Cap_{CT} / Sup_{MT}$$

C<sub>VFV</sub> = Volumen Vivienda/volumen contenedor

$$Cap_{CT} = C_{cac} / (masa * Sup_{MT}) \text{ [m}^2 \text{]}$$

$$C_{ca} = D_c / A_a \text{ [l]}$$

$$C_{cc} = D / A_c \text{ [l]}$$

$$C_{vd} = D_L * V_{dp}$$

A<sub>c</sub>: Autonomía camión (6km/l).

C<sub>ca</sub>: Consumo combustible automóvil familiar.

C<sub>cc</sub>: Consumo combustible camión.

C<sub>cac</sub>: Capacidad de carga admisible del camión (7000kg).

Cap<sub>CT</sub>: Capacidad de carga del camión en m<sup>2</sup> a transportar.

Com<sub>nec</sub>: Combustible necesario para el transporte de materiales al punto de venta/obra.

C<sub>v</sub>: Cantidad de viajes necesarios para transportar el material a la obra.

C<sub>vd</sub>: Cantidad de viajes diarios.

C<sub>VFV</sub>: Cantidad de viajes necesarios para transportar el material al vertedero<sup>8</sup>.

D: Distancia para transportar el material a la obra/vertedero.

D<sub>c</sub>: Distancia de la obra al centro de la ciudad en km.

D<sub>L</sub>: Días laborales anuales (aproximadamente 246).

E<sub>c</sub>: Energía necesaria calefacción. Se obtiene de aplicar la norma IRAM 11604 (Q)

E<sub>r</sub>: Energía necesaria refrigeración. Surge de aplicar la norma IRAM 11659 (Q<sub>R</sub>)

E<sub>i</sub>: Energía Incorporada de los elementos que componen los distintos paquetes constructivos<sup>9</sup>.

E<sub>I</sub>: Energía Incorporada Total.

E<sub>ITPM</sub>: Energía Incorporada Total para la producción de materiales.

E<sub>ITTM</sub>: Energía Incorporada Total para el transporte de materiales.

EO: Energía Operativa.

<sup>7</sup> Corresponde al promedio de la autonomía de los vehículos familiares más vendidos. Fuente: <http://www.lavoz.com.ar/autos/los-que-gastan-menos>.

<sup>8</sup>Volumen aproximado contenedor 5m<sup>3</sup>.

<sup>9</sup>Su valor se obtiene de Quispe Gamboa (2016).

FC: Factor de Conversión.

FE: Factor de Emisión.

Sup<sub>MT</sub>: Superficie del material a transportar.

T<sub>DF</sub>: Transporte Disposición Final.

V<sub>dp</sub>: Viajes diarios promedio de una familia tipo (aproximadamente 4).

V<sub>U</sub>: Vida Útil de la vivienda (50años).

Cabe destacar que, los factores de emisión utilizados en cada caso se corresponden con los establecidos por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional<sup>10</sup>. Al respecto, para Gas Natural es 0,2016 Kg de CO<sub>2</sub> eq/kWh, para Gasóleo 0,2628 Kg de CO<sub>2</sub> eq/kWh y para electricidad 0.385 Kg de CO<sub>2</sub> eq/kWh

**C- Evaluación de impactos:** su cálculo se realiza conforme a la siguiente expresión:

$$CCI = \sum GWP_i \times m_i \text{ [Kg CO}_2\text{]}$$

$$m_i = \text{Peso Unitario} * \text{Superficie [Kg]}$$

Donde:

CCI<sup>11</sup>: Indicador de Cambio Climático.

GWP<sub>i</sub>: Potencial de Calentamiento Global= 1 (horizonte temporal de 100 años)<sup>12</sup>

m<sub>i</sub>: Masa de la sustancia *i*.

Peso Unitario<sup>13</sup>: su valor se obtiene del CIRSOC 101-Reglamento Argentino de Cargas Permanentes y Sobrecargas Mínimas de Diseño para Edificios y Otras Estructuras (2005)<sup>14</sup>.

**D- Interpretación:** la clasificación de los componentes arquitectónicos analizados se realizó conforme a los valores de transmitancia térmica (K) obtenidos por los mismos. Con base en ello, se entiende por “recomendable” aquellas combinaciones de materiales cuyo K corresponde, al nivel C de las normas IRAM 11603, 11604 y 11605. La opción “aceptable” es aquella que, se relaciona con la práctica constructiva habitual de una ciudad de clima árido como San Juan. Al incluir la transmitancia térmica del componente se hace referencia a la etapa de uso de la vivienda, además de a la etapa previa.

## MATRIZ DE OPTIMIZACIÓN MULTIOBJETIVO

A partir del uso del software libre BPMSG AHP desarrollado por Klaus Goepel<sup>15</sup>, se realiza el Proceso Analítico Jerárquico<sup>16</sup> a los componentes arquitectónicos seleccionados para el análisis. Con la

<sup>10</sup><https://www.camarazaragoza.com/wp-content/uploads/2012/10/calculoemisiones.xls>

<sup>11</sup> Antón Vallejo, 2004.

<sup>12</sup> IPCC (2014).

<sup>13</sup> El factor de conversión utilizado es: 1kN/m<sup>3</sup>= 102kN/m<sup>2</sup>. Fuente: <https://www.convert-me.com/es/convert/pressure/knmsq.html?u=knmsq&v=1>

<sup>14</sup>Fuente: <https://www.inti.gob.ar/cirsoc/pdf/101/reglamento/Reglamento-cirsoc101-completo.pdf>

<sup>15</sup>Klaus D. Goepel – <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/sg/>

ponderación de los distintos componentes constructivos característicos de los sistemas racionalizados de zonas árido-sísmicas se desarrolla la Matriz de Optimización Multiobjetivo – MOM (Tabla 1).

La MOM, permite obtener el impacto de la vivienda social de zona árido-sísmica en relación con el cambio climático. Para ello, deberán completarse los ítems que se indican en rojo, lo cual requiere conocer las características constructivas y geométricas de la vivienda, así como también su ubicación. Dado que los puntajes están estandarizados al nivel 1, en ningún caso se obtienen valores superiores a 66.93. Ello se debe a que ninguna de las opciones posibles para los distintos componentes constructivos analizados corresponde al nivel A de la norma IRAM 11601 y 11605 (100% del nivel). Dicha situación permite incorporar soluciones constructivas más sustentables. Por tanto, la MOM es dinámica y permite una valoración rápida del comportamiento ambiental de la vivienda desde la etapa de diseño.

MATRIZ DE OPTIMIZACIÓN MULTIOBJETIVO											
Caracterización de la Vivienda		Energía Incorporada - ETAPA PREVIA					Energía Operativa - ETAPA POSTERIOR			FIN DE VIDA	
Componente Arquitectónico	Tipo	Superficie	CCI	Elr	Coeficiente de Validez	Nivel de Ponderación 2	Puntaje Obtenido	Refrigeración	Calefacción	Transporte	Transporte a Disposición Final
		kg CO <sub>2</sub>	kg CO <sub>2</sub> eq					kg CO <sub>2</sub> eq			
Pared	Ladrillo Cerámico Hueco	0	0	0	0	22.17	0.0				
	Ladrillón Macizo	0	0	0	1	4.73	4.7				
	Block de hormigón	0	0	0	0	5.03	0.0				
	Muro de hormigón	0	0	0	0	1.40	0.0				
Cubierta	Losa Cerámica	0	0	0	0	4.23	0.0	0	0	0	0
	Losa Maciza (H°A°)	0	0	0	1	3.73	3.7				
	Madera y Tejas	0	0	0	0	23.90	0.0				
Pisos	Metálica	0	0	0	0	1.47	0.0				
	Contrapiso Alisado + Granítico	0	0	0	0	20.87	0.0				
		0	0	0	0	2.27	0.0				

<sup>16</sup> Dentro de las metodologías de toma de decisión se encuentra el Proceso Analítico Jerárquico (PAJ), el cual de acuerdo con Celemín (2014) destaca por dividir una decisión compleja en un conjunto de decisiones simples, como resultado de crear una matriz cuadrada, en la que el número de filas y columnas viene definido por el número de criterios considerados en la toma de decisión.

**CICLO DE VIDA. VALORACIÓN DE MATERIALES CONSTRUCTIVOS EN LA VIVIENDA SOCIAL DE ZONAS ÁRIDO-SÍSMICAS**

Analia Alvarez, Verónica Ripoll Meyer

+ Cerámico	0	0	0	1	2.77	2.8				
+ Madera	0	0	0	0	7.43	0.0				
		0	0			11.2	0	0	0	0
Perímetro	0			Distancia al centro de la ciudad	0		Consumo del vehículo anual (l)			0
Superficie Total	0			Distancia al vertedero	0		Consumo del Camión			0
Volumen	0									
Vida Útil	50									
Días Laborables	246						<b>Emissiones Totales Vivienda (kg CO<sub>2</sub>eq)</b>			0
Viajes Promedio al centro	4			<b>TIPO</b>						
Viajes Camión	0									
Cant. de Viviendas	0						<b>Emissiones Totales Barrio (kg CO<sub>2</sub>eq)</b>			0

Tabla 1 – Matriz de Optimización Multiobjetivo

Fuente: Elaboración de las autoras

## RESULTADOS

Para la aplicación de la Matriz de Optimización Multiobjetivo (MOM), se toman como caso de estudio cuatro viviendas desarrolladas en el AMSJ. Dichas viviendas fueron ejecutadas por el Instituto Provincial de la Vivienda (IPV) – San Juan entre 2010 – 2015 en los barrios Valle Grande (Rivadavia), Los Horcones (Rawson), El Prado (Chimbas) y Huarpes (Rawson). La Tabla 2 sintetiza los resultados alcanzados en la evaluación.

Barrio	Cantidad de Viviendas	CCI	EI <sub>r</sub>	Puntaje	EO	Fin de Vida	Emissiones Totales Vivienda (kg CO <sub>2</sub> eq)	Emissiones Totales Barrio (kg CO <sub>2</sub> eq)	Tipo
Los Horcones	110	73693.66	340724.1	11.2	333227.8	125.99	674077.86	74148564.9	2
Valle Grande	1000	73013.71	347373.5	11.2	405905.56	46.101	753325.13	753325132.8	2
Huarpes	286	65190.47	301126.5	11.2	345535.9	86.590	646749	184970214.4	2
El Prado	48	70996.17	336617.8	11.2	323778.6	270.80	660667.16	31712023.8	2
<b>Valores Promedio</b>		<b>70723.5</b>	<b>331460.5</b>	<b>11.2</b>	<b>352112</b>	<b>132.37</b>	<b>683704.79</b>	<b>261038984</b>	<b>2</b>

Tabla 2 – Síntesis de los resultados por Barrio

Fuente: Elaboración de las autoras

La Tabla 2 expone las emisiones de CO<sub>2</sub> totales, a lo largo de toda la vida útil de las viviendas evaluadas, así como también las del emprendimiento urbano al que pertenecen. Como resultado, se obtiene que las emisiones de CO<sub>2</sub> del hábitat social de una zona árido-sísmica es de 683.704,79 kgCO<sub>2</sub>eq/kWh. La materialización de las viviendas analizadas corresponde a la práctica constructiva

generalizada, por tanto, si bien dista de ser una resolución sustentable, se la clasifica como “aceptable”.

De los valores promedio, se extrae que el mayor porcentaje de emisiones se relaciona con la Energía Operativa (EO). Si se correlaciona dicho valor con el de la Energía Incorporada Total (EI<sub>T</sub>) se obtiene que EI<sub>T</sub> se corresponde con un 94,13% de EO, en tanto para Fin de Vida la relación se establece en el orden del 0,04%. Si se consideran las emisiones totales por vivienda, tendríamos que la EO posee una incidencia sobre el resultado final del 51.5%, en tanto a la EI<sub>T</sub> corresponde el 48,48% y al Fin de Vida el 0,02%.

La Matriz de Optimización Multiobjetivo (MOM), se ha diseñado a los fines de ser utilizada como una herramienta de apoyo a la decisión en instancias iniciales del proyecto arquitectónico, ya que su uso facilita la estimación rápida y expeditiva del perfil ambiental de la vivienda a lo largo de toda su vida útil. La manipulación predictiva de los datos de entrada de la MOM permite la selección de soluciones constructivas y de emplazamiento con menores impactos ambientales. Al respecto, los valores promedio de la Tabla 2 establecen la línea base de la práctica constructiva habitual del hábitat social en zona árido-sísmica.

## CONCLUSIONES

La Matriz de Optimización Multiobjetivo (MOM) se basa en la estimación temprana, a lo largo de su ciclo de vida, de las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas a la materialización y emplazamiento de la vivienda social en zona árido-sísmica. A los efectos de facilitar la evaluación en etapa de diseño, se excluye la influencia en el análisis de carpinterías y revoques, dado que su inclusión excede los alcances de este estudio. No obstante, la MOM permite incorporar a futuro, el análisis de dichos parámetros así como también otras opciones constructivas que resulten apropiadas y sean generalizables a zonas árido-sísmicas. En este sentido, su uso aporta a la mejora continua de dichos sistemas constructivos.

En relación con los resultados alcanzados para los distintos casos de estudio analizados, se concluye que, optimizar los materiales constructivos en zonas árido-sísmicas, implica una mirada integral de la problemática habitacional en términos de ciclo de vida. Asimismo, se detecta que dentro del hábitat social existente las estrategias de mejora posibles son de tipo comportamentales o bien de sistemas con mayor eficiencia energética.

Al respecto, educar al usuario en materia de uso racional de la energía, eficiencia energética y ciclo de vida constituye un camino para empoderar a los mismos, a los fines de que puedan ejercer su derecho a una vivienda digna y un ambiente sano, equilibrado y apto para el desarrollo humano, tal como lo establecen los artículos 14bis y 41 de la Constitución Nacional Argentina.

## BIBLIOGRAFÍA

Ali, A.; Negm, A.; Bady, Mahmoud E Ibrahim, M. (2015). Environmental life cycle assessment of a residential building in Egypt: A case study. *Procedia Technology* 19 349 – 356 <https://core.ac.uk/download/pdf/82527681.pdf>

- Basbagill, J.; Flager, F.; Lepech, M. y Fischer, M. (2013). Application of life-cycle assessment to early stage building design for reduced embodied environmental impacts. *Building and Environment* Volume 60, 81-92.
- Carabaño, R.; Hernando, S.; Ruiz, D. y Bedoya, C. (2017). Análisis de Ciclo de Vida (ACV) de los materiales de construcción para la evaluación de la sostenibilidad en la edificación: el caso de los materiales de aislamiento térmico. *Revista de la Construcción* [online], vol.16, n.1, pp.22-32. ISSN 0718-915X. <http://dx.doi.org/10.7764/RDLC.16.1.22>. [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718915X2017000100022&script=sci\\_abstract&tlng=pt](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718915X2017000100022&script=sci_abstract&tlng=pt)
- Celemín, J. (2014). El proceso analítico jerárquico en el marco de la evaluación multicriterio: un análisis comparativo. *Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GEOSIG)*. Año 6, Número 6, Sección II: Metodología. pp. 47-63. ISSN 1852-8031.
- Corona Bellostas, B. (2016). Análisis de Sostenibilidad del Ciclo de Vida de una Configuración innovadora de Tecnología Termosolar. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. Departamento de Ingeniería Química Industrial y Medio Ambiente, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. [http://oa.upm.es/43813/1/BLANCA\\_CARMEN\\_CORONA\\_BELLOSTAS.pdf](http://oa.upm.es/43813/1/BLANCA_CARMEN_CORONA_BELLOSTAS.pdf).
- Delgado Castillo, C. y Velázquez Flores, G. (2012). Materiales de Construcción Sustentables en Mexico: Políticas Públicas y Desempeño Ambiental. X Seminario Itinerante del Campo Estratégico de Acción en Pobreza y Exclusión del Sistema Universitario Jesuita (págs. 1-53). Mexico: Universidad Iberoamericana.
- Garrido Piñero, J. (2015). Metodología de Evaluación y Minimización del Impacto Medioambiental de tipologías residenciales de vivienda colectiva en la ciudad de Sevilla. Tesis Doctoral. Departamento de Construcciones arquitectónicas. Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Universidad de Sevilla.
- IRAM - serie 11600. Acondicionamiento térmico de edificios. UNSJ. Biblioteca de la Facultad de Ingeniería. Instituto de Mecánica Aplicada. Norma. Argentina.
- IRAM 21931-1/12 (2012). Construcción sostenible. Marco de referencia para los métodos de evaluación del desempeño ambiental de las obras de construcción. Parte 1- Edificios.
- Quispe Gamboa, C. (2016). Análisis de la Energía Incorporada y Emisiones de CO2 aplicado a viviendas unifamiliares de eficiencia energética. Tesis Final de Maestría. Universidad Politécnica de Cataluña Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona Máster en Arquitectura, Energía y Medio Ambiente. 2016. <https://wwwaie.webs.upc.edu/maema/wp-content/uploads/2016/10/Quispe-Gamboa-Claudia-Nataly.pdf>
- Ros García, J. y Sanglier Contreras, G. (2017). Análisis del Ciclo de Vida de una Unidad Prototipo de Vivienda de Emergencia. La búsqueda del impacto nulo. *Informes de la Construcción*, 69(547): e211, doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.16.035>. 2017.
- Röck, M.; Hollberg, A.; Habert, G. y Passer, A. (2018). LCA and BIM: Integrated assessment and visualization of building elements' embodied impacts for design guidance in early stages. 25th CIRP Life Cycle Engineering (LCE) Conference, 2018, Copenhagen, Denmark *Procedia CIRP* 69 (2018) 218 – 223. [https://ac.els-cdn.com/S2212827117308636/1-s2.0-S2212827117308636-main.pdf?\\_tid=61036bbc-08a3-4bc0-902a-4cbc080ec1fc&acdnat=1544491510\\_4793a2ca01c5599d70a784e19105f295](https://ac.els-cdn.com/S2212827117308636/1-s2.0-S2212827117308636-main.pdf?_tid=61036bbc-08a3-4bc0-902a-4cbc080ec1fc&acdnat=1544491510_4793a2ca01c5599d70a784e19105f295).
- Zabalza Bribán I., Días de Garayo S., Aranda Usón A. y Scarpellini S. (2014). Impacto de los materiales de construcción, análisis de ciclo de vida. <http://www.ecohabitar.org/impacto-de-los-materiales-de-construccion-analisis-de-ciclo-de-vida/>