

## **IMPACTO AMBIENTAL DEL SISTEMA ESTRUCTURAL DE LA VIVIENDA SOCIAL EN EL GRAN SAN MIGUEL DE TUCUMAN**

**Vanesa Saez, Beatriz Garzon**

Concejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)  
Facultad de Arquitectura y Urbanismo- Universidad Nacional de Tucumán (FAU-UNT) - Tucumán  
C.P. 4000 - Tel. 00 54 (381) 436-4093. E-mail: vanesaez@gmail.com, bgarzon06@gmail.com

**RESUMEN:** La estructura resistente de una obra es imprescindible, y por tanto además de tener en cuenta el tipo de material y las posibilidades tecnológicas de cada región, se debe considerar también el impacto ambiental asociado. Hoy en día, en el Gran San Miguel de Tucumán el sistema estructural que se utiliza en las viviendas sociales se materializa a través del acero y el hormigón, siendo el techo el elemento más incidente en el consumo de materia y energía. Pero en efecto, el uso de estos materiales resulta ser altamente contaminante. El objetivo de este estudio, es analizar el impacto ambiental referido al potencial calentamiento global de cada una de las tipologías de techos que se utilizan en la materialización de las viviendas sociales de esta región. Se comparan las emisiones de gases efecto invernadero de tres tipos de techos: losa llena, losa alivianada con bovedilla cerámica y techo liviano de perfiles “C” y chapas galvanizadas. El techo liviano con un valor de 58 kg CO<sub>2</sub> eq/m<sup>2</sup>, resulta el más favorable en lo que respecta a menor emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente. En tal efecto, se optimiza su utilización si se reemplaza el sistema estructural de vigas, columnas y bases de hormigón armado, por un sistema portante resuelto mediante el entramado de madera o perfiles de acero cincado.

**Palabras clave:** Análisis de ciclo de vida. Potencial calentamiento global. Emisiones de dióxido de carbono equivalente.

### **INTRODUCCIÓN**

El sistema estructural se considera una parte esencial y necesaria de la obra, si bien no es la finalidad última de la misma (Torrojas Miret, 2010). Es decir, la estructura resistente de una obra es imprescindible, y por tanto además de tener en cuenta el tipo de material y las posibilidades socio-técnicas-económicas de cada región, se debe considerar también el impacto ambiental local y global que genera. En tal sentido, Saleme (2020) dice: “se debe, entender la lógica de las estructuras y de los materiales, para lograr utilizar los más convenientes desde la perspectiva de la sustentabilidad”. Todas estas pautas a tener en cuenta en el diseño estructural, conforma un todo indisoluble, se condicionan mutuamente y es ahí donde se encuentra el mayor desafío del diseñador.

Si nos enfocamos en el tipo de material, los requerimientos estructurales a tener en cuenta para la elección del mismo son: a) su comportamiento elástico frente a condiciones climáticas, b) el tipo de carga a soportar durante su vida útil y su capacidad de absorber esfuerzos simples de tracción, compresión y corte (Salvadori, 1992). Es decir, éstos deben presentar ciertas propiedades físicas y mecánicas que permitan responder a las solicitaciones de fuerzas externas. En tal sentido, el acero, presenta las mismas propiedades estructurales en todas sus direcciones, es decir, capaz de soportar de igual manera esfuerzos simple de tracción, compresión y en tanto, de flexión (Salvadori, 1992). Desde esta caracterización del acero, resulta elocuente considerar su gran protagonismo en las

estructuras resistentes. Cumple con gran parte de las condiciones recién mencionadas, excepto en su falta de elasticidad frente algunas condiciones ambientales. Este se convierte en un material plástico cuando se somete a altas temperatura, como por ejemplo un incendio. También pierde sus propiedades físicas y en consecuencia sus buenas propiedades mecánicas cuando está en contacto con oxígeno y/o agua, produciéndose un proceso de oxidación y posterior corrosión el cual afecta a la estructura interna del material. Por tal motivo, se necesita protegerlo de los agentes externos mediante recubrimientos como pueden ser: a) aleaciones de otros metales como el zinc, b) hormigón o mortero cementicio, c) esmaltes sintéticos (Ferreira, 2018). El hormigón es otro material óptimo para estructuras, especialmente a los esfuerzos referidos a la compresión (Salvadori, 1992). En este sentido, la combinación del acero y el hormigón, es decir, el hormigón armado, se convierte en un material compuesto con mejores propiedades mecánicas y de gran uso para resolver sistemas estructurales. Pero en efecto, estos resultan ser altamente contaminantes. A nivel mundial, el cemento -el ingrediente clave en el hormigón- genera 2,2 giga toneladas de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), siendo el 8% de las emisiones a nivel mundial (Chatham House, 2018). Por su parte, el acero emite cerca de 1,7 giga toneladas de dióxido de carbono a la atmósfera, lo que representa el 5 % de las emisiones globales actuales de  $\text{CO}_2$  (Technology Review, 2020). En Argentina, la producción de cemento emite 4.132.020 toneladas de  $\text{CO}_2$  y el acero 4.487.020 toneladas de  $\text{CO}_2$ , representando el 53% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que generan los procesos industriales en el país (SGAyDS, 2019).

Hoy en día, en el Gran San Miguel de Tucumán (GSMdT), el sistema estructural que se utiliza para la generación de viviendas de interés social es el que Engel (2006) define como “Sección activa”, materializado a través del acero y el hormigón. Es decir, bases, columnas y vigas de hormigón armado -que encadenan y confinan los cerramientos verticales no portante- y el techo. Este último elemento, en las viviendas de nuestra región, se resuelven con losa llena de hormigón armado, o su variante de la losa alivianada con bovedilla cerámica, o techos livianos resueltos con vigas de perfiles “C” y chapas de acero galvanizado (IPVyDU, 2020). Cualquiera de las tipologías de techo utilizadas, representan una incidencia del 40% al 50% del consumo de materia y energía de la totalidad de la materialización de vivienda (SADyS, 2018). Por lo tanto, tienen una incidencia directamente proporcional en la generación de GEI.

En tal sentido, este trabajo toma especial consideración, en el techo y su impacto referido específicamente al Potencial Calentamiento Global (PCG) o (GWP, por sus siglas en inglés) el cual influye en el Cambio Climático (CC). En ese marco, el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) aplicado a productos de construcción y edificios, proporciona información imprescindible para la evaluación de la sustentabilidad ambiental de los mismos (Alvares y Ripoll Meyer, 2018). El cual, permite analizar y detectar posibles errores y oportunidades de cambios en las distintas etapas de la vida del material (Antón Vallejo, 2004). En este estudio, se analiza la etapa inicial asociado a los tipos de techos, lo que se denomina “de la cuna a la puerta” dentro de un ACV (Saez y Garzón, 2019). En relación a esto, si bien la fase de uso tiene gran peso en términos de impacto energético y de emisiones de gases de efecto invernadero, existen grandes oportunidades para la reducción de impactos en las fases anteriores del ciclo de vida (Villar Burke et al., 2014). Resulta importante reconocer cuál de estos tres tipos de techos genera la menor cantidad de gases efecto invernadero y desde esta perspectiva facilitar la toma de decisiones en futuros proyectos. Introduciendo, cambios parciales o totales en las tecnologías constructivas para sean más sustentables.

## **OBJETIVO**

El objetivo de este estudio, es analizar el impacto ambiental referido al potencial calentamiento global asociado a cada una de las tipologías de techos: losa llena, losa alivianada con bovedilla cerámica y techo liviano con vigas de perfiles “C” y chapas de acero galvanizado que se utilizan en la materialización de las viviendas sociales en el Gran San Miguel de Tucumán.

## METODOLOGÍA

La metodología utilizada se divide en etapas siguiendo un orden cronológico. En primer lugar, se realiza una búsqueda exploratoria de información técnica específica (planos, memorias descriptivas y relevamiento fotográfico) de las tipologías de vivienda en estudio. En tal sentido, se determina la tipología estructural más utilizada y los elementos constructivos con los cuales se resuelven los techos en las viviendas sociales del GSMdT. En esta primera etapa, se toma como base de datos el portal web del Instituto Provincial de Vivienda y Desarrollo Urbano de Tucumán (IPVyDU). En segundo lugar, se comparan y se analizan los valores de GEI que se emiten en la etapa denominada según la metodología de ACV: “de la cuna a la puerta”. Es decir, las fases referidas a: extracción, producción y transporte de los materiales que se usan en la realización de los 3 tipos de techos a analizar: losa llena, losa alivianada con bovedilla cerámica y techo liviano con vigas de perfiles “C” y chapas de acero galvanizado. Estos datos, se obtienen de la Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Argentina (SAyDS, 2018). Luego de identificar la opción de techo que resulta más conveniente en términos ambientales, se analiza la posibilidad de reemplazar el sistema estructural de vigas, columnas y bases de hormigón armado, por un sistema portante resuelto mediante el entramado de madera o perfiles de acero cincado con tecnología en seco.

### *Determinación del sistema estructural de la vivienda social en Tucumán*

En las viviendas de interés social del GSMdT, el sistema estructural más utilizado es el de “sección activa”. Las características principales de este sistema, según Engel (2006):

*“estructura en estado de flexión, sometida a esfuerzos internos de compresión, tracción y corte. Resuelto con elementos lineales rígidos y sólidos – incluyendo su forma compacta de losa- en los que la transmisión de cargas se efectúa por movilización de fuerzas seccionales”.*

En la región en estudio, este sistema, se dimensiona por seguridad para los esfuerzos horizontales simples, ante riesgo de sismos. Tucumán se encuentra dentro de la zona sísmica II (INPRES-CIRSOC 103, 2005). Se utilizan una tipología estructural puntual o “de esqueleto”, sus partes componentes son: bases, columnas y vigas de hormigón armado -que encadenan y confinan a los cerramientos verticales no portante- y el techo. Este último elemento, se materializan con losa llena de hormigón armado, o su variante de la losa alivianada con bovedilla cerámica, o techos resueltos con vigas de perfiles “C” y chapas de acero galvanizado (IPVyDU, 2020). En la figura 1, se muestra el proceso de elaboración de las columnas para el sistema estructural recién caracterizado de hormigón armado y su tecnología en húmedo. El relevamiento fotográfico, pertenece a las viviendas unifamiliares del sector XIV construidas en 2013 en el Barrio Lomas de Tafí, en el municipio de Tafi Viejo de la provincia de Tucumán.





Figura 1: Sistema Estructural Sección Activa. Sector XIV Barrio Lomas de Tafi, Tafi Viejo, Tucumán.  
Fuente: Daniel Cano, 2013.

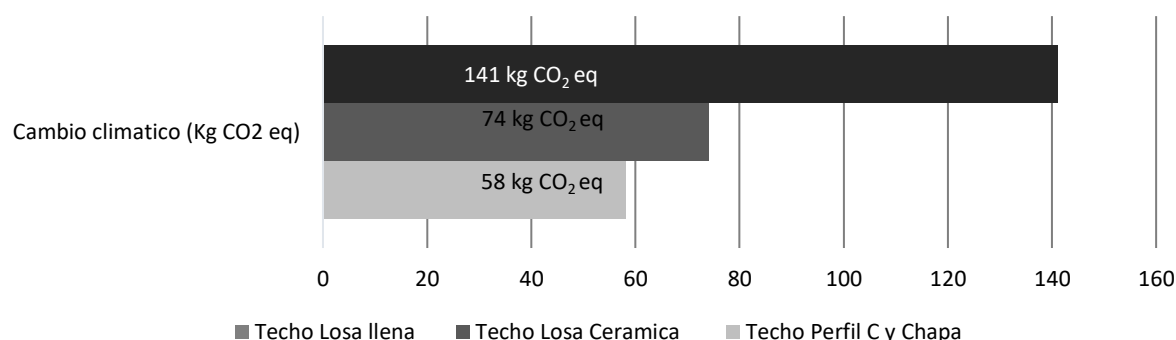
## RESULTADOS

### *Análisis de las emisiones de gases de efecto invernadero del sistema estructural*

Luego de haber caracterizado en el punto anterior, la tipología estructural, sus materiales y tecnología constructiva de la vivienda social en el GSMdT, resulta importante focalizar este estudio, en el cerramiento horizontal superior de la estructura. Siendo uno de los elementos constructivos más incidentes en cuanto a gasto de materia y energía en la construcción de este tipo de viviendas (SAyDS, 2018). La valoración se realiza a partir de los datos obtenidos del Manual de desempeño ambiental de los materiales y tecnologías utilizadas en la construcción de viviendas sociales (SAyDS, 2018). En el cual, han utilizado la metodología de ACV según norma IRAN en ISO 14040 y 14044. A los fines de este estudio, se toman los datos cuantitativos de las emisiones de GEI medidas en kilogramos de dióxido de carbono equivalente ( $\text{kg CO}_2 \text{ eq}$ ). Esta unidad de medida se la considera universal y permite comparar los diferentes GEI -vapor de agua, el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), el metano ( $\text{CH}_4$ ) y otros gases, como los clorofluorocarbonos (CFC), los hidrofluorocarbonos (HFC), los perfluorocarbonos (PFC), el óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) y el hexafluoruro de azufre ( $\text{SF}_6$ ), entre los más importantes- de igual a igual con una unidad de  $\text{CO}_2$  (Carbon Trust, 2020). De esta forma queda expresado el PCC que generan las 3 variantes de techos: Losa Llena, Losa alivianada con bovedilla cerámica y techo liviano de perfil “C” y chapa de acero galvanizado. La unidad funcional de referencia es  $1 \text{ m}^2$  de construcción de los materiales que conforman las tipologías de techos a comparar. Las etapas consideradas en este análisis son las que abarcan la extracción, producción y transporte de materiales, es decir, lo que en un análisis de ciclo de vida se denomina: “de la cuna a la puerta” (Saez y Garzón, 2019). En la tabla 1, se detallan los valores de  $\text{kg CO}_2 \text{ eq}$  de las distintas variantes de techos que se utilizan en las viviendas del GSMdT, para un mismo sistema estructural, el que se conforma con bases, columnas y vidas de hormigón armado.

Techo	Potencial Cambio Climático $1 \text{ m}^2$ de Techo
Perfil y Chapa Acero Galvanizado	58 $\text{Kg CO}_2 \text{ eq}$
Losa alivianada c/ bovedilla cerámica	74 $\text{Kg CO}_2 \text{ eq}$
Losa Llena de Hormigón Armado	141 $\text{Kg CO}_2 \text{ eq}$

Tabla 1: Valores de  $\text{kg CO}_2 \text{ eq}$  de los techos de la vivienda social en GSMdT. Fuente: Elaboración propia, según datos los datos proporcionados por la SAyDS, 2018.



*Figura 2: Valores de kg CO<sub>2</sub> eq de los techos de la vivienda social en GSMdT. Fuente: Elaboración propia, según datos los datos proporcionados por la SAyDS, 2018.*

En el Figura 2, se muestra que el techo de vigas de Perfil “C” y chapas de acero galvanizado, resulta el más favorable en lo que respecta a menor emisiones de GEI con un valor de 58 kg CO<sub>2</sub> eq/m<sup>2</sup>. En segundo lugar, se ubica el techo de losa alivianada con bovedilla cerámica con un valor de 74 kg CO<sub>2</sub> eq/m<sup>2</sup>. Y en último lugar, se ubica la losa llena de hormigón armado con un valor de 141 kg CO<sub>2</sub> eq/m<sup>2</sup>.

En la tabla 2, se expresan los valores de (kg CO<sub>2</sub> eq) que emite cada tipo de techo considerando una superficie cubierta de 45 m<sup>2</sup> estimados para una vivienda unifamiliar de 2 dormitorios, según documentación gráfica y relevamiento fotográfico del IPVyDU (2020). Además, para un mayor dimensionamiento del impacto negativo que se produce al ambiente, se transportan estos datos a un supuesto total de 2500 unidades de viviendas, siendo una cantidad posible de casas a albergar en un sector o en un barrio completo en el GSMdT, por ejemplo, un sector del complejo habitacional Lomas de Tafi o el Barrio Manantial Sur (IPVyDu,2020).

Techo	Potencial Cambio Climático 45 m <sup>2</sup> de techo	Potencial Cambio Climático 2500 techos de 45 m <sup>2</sup>
Perfil y Chapa Acero Galvanizado	2.620 Kg CO <sub>2</sub> eq	6.550 Ton CO <sub>2</sub> eq
Losa alivianada c/ bovedilla cerámica	3.300 Kg CO <sub>2</sub> eq	8.250 Ton CO <sub>2</sub> eq
Losa Llena de Hormigón Armado	6.345 Kg CO <sub>2</sub> eq	15.862 Ton CO <sub>2</sub> eq

*Tabla 2: Valores GEI en los distintos tipos de techos. Fuente elaboración propia*

Dentro de las tres tipologías de techos más utilizadas para la elaboración de viviendas sociales en Tucumán, el techo de perfiles “C” y chapas de acero galvanizado, produce menos emisiones de GEI al ambiente. Es decir, emite 37% menos de GEI que el de losa alivianada con bovedilla cerámica y es un 160 % inferior respecto a el techo de losa llena. Otros beneficios que se le adjudica al techo de perfiles “C” y chapas de acero galvanizado, es que, por su bajo peso propio no necesita de vigas, columnas y bases de grandes secciones, solo las dimensiones mínimas obligatorias por el INPRES-CIRSOC 103 (2005) por ser zona de riesgo II. Por lo tanto, se reduce material en estos elementos constructivos y resulta directamente proporcional, a menor consumo de material y energía, menores emisiones de GEI se producen. También, su bajo peso propio y el tipo de perfiles y chapas facilita la logística de transporte y en consecuencias menor el consumo de combustible fósil y de emisiones al ambiente. En la losa alivianada, el elemento estructural que más incide en la generación de GEI es la vigueta pretensada. Incide negativamente al ambiente su etapa de fabricación por la utilización de cemento y

acero, como así también, presenta alta emisiones en la fase de su transporte por el alto peso propio de las viguetas (SAyDS,2018). La tipología de losa llena, resulta la más desfavorable en este análisis comparativo, siendo la elaboración del cemento su fase de mayor impacto negativo (SAyDS,2018).

## DISCUSIÓN

A pesar que el techo de perfiles “C” y chapa de acero galvanizada, presenta valores de GEI considerablemente menores que los techos de losa llena o alivianada, el tipo estructura portante sigue dependiendo de bases, columnas y vigas, de hormigón armado. Lo que significa, utilizar cemento y acero, así como también, un sistema constructivo en húmedo, con la necesidad de mucho tiempo para su ejecución, lo que se traduce en gasto energético, emisión de GEI y generación de residuos.

En esta dirección, resulta interesante remplazar el sistema estructural de “sección activa” por el sistema estructural de “vectores activos”. El cual, define Engel (2006) como:

*“sistema portante formado por elementos lineales (barras), la transmisión de las fuerzas se realiza por descomposición vectorial a través, de una subdivisión multidireccional de las fuerzas [...] las barras trabajan con esfuerzos simples de compresión y tracción conformando un sistema mixto”.*

Este tipo de sistemas, se resuelve mediante perfiles o barras, pudiendo ser de madera conocido por su nombre en inglés Timber Frame o mediante barras de acero galvanizado, conocido por su nombre en inglés Steel Frame (Pereira, 2018). Este tipo estructural, en el año 2018 se ha reconocido como sistema constructivo tradicional en la Argentina según Resolución 3-E/2018 para entramado de madera y según 5-E/2018 para entramado de Resolución perfiles conformados en frío de chapa cincada (Secretaría de Vivienda y hábitat, Ministerio de Interior, Obras Públicas y Vivienda, 2018).

La posibilidad de utilizar la madera como sistema estructural, permite prescindir del acero en la estructura, así como también, del hormigón y del cerámico. La madera para edificar viviendas es un material que cuenta con múltiples beneficios, entre ellos la necesidad de poca energía para su producción, transporte e instalación, lo que conlleva una menor emisión de gases de efecto invernadero (Lop, 2020). Se estima que utilizando sustitutos de madera se podrían ahorrar del 14% al 31% de las emisiones globales de CO<sub>2</sub> y del 12% al 19% del consumo global de combustibles fósiles (Chadwick Dearing et al, 2014). Como dice Smedley (2019) 1 m<sup>2</sup> de madera contiene 1 tonelada de CO<sub>2</sub>, por cuanto la madera no sólo reduce CO<sub>2</sub> de la atmósfera en comparación al que genera a través de la fabricación, sino que, al reemplazar materiales intensivos en carbono como el hormigón o el acero, duplica su contribución a la reducción de CO<sub>2</sub>. Solo se debe considerar que sea proveniente de bosques certificados, gestionados por criterios de sostenibilidad. El uso de un bosque con fines de tala significa más árboles en crecimiento que retienen el carbono en la madera, y esto supera las emisiones liberadas por el transporte y la tala (Wood for Good, s.f.). Además, tener en cuenta la distancia con el lugar de montaje de la obra, de caso contrario, el combustible utilizado para su transporte generará impactos negativos al ambiente (Cuadrado, 2015).

En cuanto a utilizar el entramado de perfiles conformados en frío de chapa cincada, no presenta grandes reducciones de GEI y energías consumidas en las etapas iniciales – extracción de materia prima elaboración del material y transporte – con respecto a las barras de acero para la estructura de hormigón armado, como así también, el de los perfiles “C” y chapas galvanizadas. Sin embargo, si se reduce el consumo de energía fósil y por tanto emisiones de GEI en lo que refiere a la etapa de transporte a la obra si se lo compara con el hormigón elaborado para el llenado de los elementos estructurales del sistema constructivo que se utiliza actualmente para las viviendas sociales en el GSMdT. La perfilería de acero cincado es liviana y su volumen reducido y en tal sentido, reduce el transporte requerido para su traslado. Además, este tipo de sistema constructivo presenta ventajas en las etapas posteriores, las que se refieren a montaje de la obra, uso y fin de la vida útil de la vivienda.

En cuanto a la etapa de materialización de la vivienda, éste presenta menor tiempo y energía utilizada para su montaje en referencia a realizar bases, columnas, vigas y losa de hormigón armado. El sistema constructivo *steel frame* destaca su conveniencia en los aspectos de rapidez de ejecución, se ejecuta en tiempo 33% menor a la de la construcción tradicional calculado sobre un prototipo de vivienda social de 58 m<sup>2</sup> (Arengo Piragine et al., 2020). Sus elementos constructivos son 100% reciclables, así como también los residuos que pueden generarse en el momento de ejecución de la obra.

## ALCANCES

El presente trabajo analiza mediante datos cuantitativos las emisiones de CO<sub>2</sub> eq, de los techos de las viviendas sociales del GSMdT, en la etapa inicial del ciclo de vida del edificio. Se proseguirá en futuros avances de la investigación, con la consideración de las etapas de usos y fin de la vida útil de estos elementos constructivos combinados con otras variables ambientales y económicas. El análisis completo del ciclo de vida, lo que se denomina “de la cuna a la tumba”, permite tener una valoración holística del impacto ambiental que genera la vivienda social a lo largo de su vida útil, con el objeto de identificar posibles mejoras, referidas a cambios en los materiales, tecnologías constructivas, modo de uso o tipo de reciclaje cuando se determine el fin de su vida útil.

## CONCLUSIONES

Las emisiones de GEI en la extracción, fabricación y transporte de los materiales de la construcción, contribuyen al cambio climático de una manera determinante. Se debe responder a las contradicciones que hasta el momento presenta la industria de la construcción. Por un lado, permite el desarrollo de las ciudades y sus viviendas, en el agotamiento de los recursos abióticos del planeta. El sistema estructural resuelto con hormigón armado, no es la única opción viable. Conseguir el reemplazo del hormigón en la estructura portante de la unidad de vivienda social, es factible. Lograr la eficiencia del acero o cambiar de material en estas viviendas también es posible. Por lo tanto, como primer paso para revertir el impacto ambiental que genera la construcción, es necesario repensar la forma en que construimos. Los materiales y las técnicas pueden evolucionar o sustituirse desde las bases y los principios de sustentabilidad, favoreciendo a la reducción de energías consumidas en las etapas iniciales del ciclo de vida y, por consiguiente, a la disminución de las emisiones de los distintos gases de efecto invernadero.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece al alumno Daniel Cano de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Nacional de Tucumán porque nos proporcionó las imágenes que tomó durante las distintas etapas de ejecución de las viviendas de interés social del B° Lomas de Tafi, Tafi Viejo, Tucumán, año 2013.

## REFERENCIAS

- Alvarez A. y Ripoll Meyer V. (2018). Matriz de referencia para la optimización del ciclo de vida de los materiales constructivos de la vivienda social en zona árido-sísmicas. *Hábitat Sustentable*, 8 (2). 52-63. doi.org/10.22320/07190700.2018.08.02.04
- Antón Vallejo, A. (2004). Utilización del Análisis del ciclo de vida en la evaluación del impacto ambiental del cultivo bajo invernadero mediterráneo. (Tesis Doctoral). España: Universitat Politècnica de Catalunya. (UPC)
- Arengo Piragine, V et al. (2020) Anteproyecto de viviendas sociales con Steel Framing en Corrientes. Comparación con sistema húmedo tradicional. *Revista: Arquitecto*. Vol 15 p: 37-44 DOI: <http://dx.doi.org/10.30972/arq.0154386>
- Carbon trust, (2020). Medida o cálculo de la Huella de Carbono. Guía introductoria. El siguiente paso para la reducción de emisiones. Reino Unido. Recuperado de <https://prod-drupal->

- files.storage.googleapis.com/documents/resource/restricted/Medida-o-calculo-de-la-huella-de-carbono.pdf
- Chadwick Dearing, O et al. (2014) Mitigación de carbono, combustibles fósiles y biodiversidad con madera y bosques, *Journal of Sustainable Forestry*, 33: 3, 248-275, DOI: 10.1080/10549811.2013.839386
- Chatham House Report (2018). *Making Concrete Change Innovation in Low-carbon Cement and Concrete*. Lehne, J y Preston, F. Recuperado de: <https://www.chathamhouse.org/sites/default/files/publications/2018-06-13-making-concrete-change-cement-lehne-preston-final.pdf>
- Cuadrado, J., Zubizarreta, M., Pelaz, B., & Marcos, I. (2015). *Methodology to assess the environmental sustainability of timber structures*. *Construction and Building Materials*, 86, 149–158. doi:10.1016/j.conbuildmat.2015.03.109
- Engel, H. (2006). *Sistemas de estructuras*. Barcelona, España. Editorial Gustavo Gili S.L. Pag: 20,21,28.
- Ferreira, I (2018). Material didáctico de construcciones I: Metales. Tucumán. Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Universidad Nacional de Tucumán
- Instituto Nacional de Prevención Sísmica- INPRES-CIRSOC (2005). Reglamento Argentino para construcciones sismoresistentes. Parte II Construcciones de hormigón armado. [http://contenidos.inpres.gov.ar/docs/INPRES-CIRSOC-103\\_Parte\\_II-Reglamento.pdf](http://contenidos.inpres.gov.ar/docs/INPRES-CIRSOC-103_Parte_II-Reglamento.pdf). Secretaría de obras públicas. Ministerio de obras públicas
- Instituto Provincial de la Vivienda y Desarrollo Urbano, (28 de agosto 2020). *Síntesis general de Obras Ejecutadas*. Recuperado de: <http://www.ipvtuc.gov.ar/obras/realizadas/>
- Lop, R. (2020). Materiales y huella de carbono: el papel de la madera para retener las emisiones de co2. Madera 21. Chile. Recuperado de: <https://www.madera21.cl/materiales-y-huella-de-carbono-el-papel-de-la-madera-para-retener-las-emisiones-de-co2/#:~:text=Pero%20principalmente%20la%20madera%20puede,que%20agrava%20el%20cambio%20clim%C3%A1tico>
- Pereira, M (2018). "Steel Frame y Timber Frame: ventajas de los sistemas constructivos en seco" [Steel Frame e Timber Frame: vantagens dos sistemas construtivos a seco]. Plataforma Arquitectura. Recuperado de <<https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/890734/steel-frame-y-wood-frame-ventajas-de-los-sistemas-constructivos-en-seco>> ISSN 0719-8914
- Saez, V. y Garzon, B (2019). *Análisis de la huella de carbono en placa de revestimiento resueltas con scrap*. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 23, pp 05.37-05.45, 2019. Impreso en la Argentina ISSN 2314-1433 - Trabajo seleccionado de Actas ASADES2019
- Saleme, H. (2020): *Apuntes de Clase*. Curso de posgrado. Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Universidad Nacional de Tucumán
- Salvadori, M. (1992): *Estructuras para Arquitectos*. Buenos Aires. Editorial: CP67. Pag: 33,34.
- Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Argentina – SAsDS (2018). *Manual del desempeño ambiental de los materiales y tecnologías utilizadas en la construcción de las viviendas sociales*. Buenos Aires, Argentina. Recuperado de: <https://www.argentina.gob.ar/ambiente/desarrollo-sostenible/vivienda/ciclo-de-vida>
- Secretaria de Vivienda y hábitat, 2018. *Resolución 3-E/201 Secretaria de Vivienda y hábitat Ministerio de Interior, Obras Públicas y Vivienda*. Argentina. Recuperado de: <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/resoluci%C3%B3n-3-2018-305849/texto>
- Secretaria de Vivienda y hábitat, 2018. *Resolución 5-E/2018. Secretaria de Vivienda y hábitat Ministerio de Interior, Obras Públicas y Vivienda*. Argentina. Recuperado de: <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/resoluci%C3%B3n-3-2018-305849/texto>
- SGAsDS, (2019). Tercer Informe Bienal de Actualización de Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC).
- Smedley, T. (2019). *Could wooden buildings be a solution to climate change?* BBC. Londres. Recuperado de: <https://www.bbc.com/future/article/20190717-climate-change-wooden-architecture-concrete-global-warming>
- Technology Review, (1 de septiembre 2020). *Una nueva forma de fabricar acero podría limpiar el CO2 de la siderurgia*. Recuperado de <https://www.technologyreview.es/s/10562/una-nueva-forma->

de-fabricar-acero-podria-limpiar-el-co2-de-la-siderurgia.

Torrojas Miret, E. (2010). *Razón y ser de los tipos estructurales*. Madrid, España. Editorial Doce Calles, S. L. Pag: 14, 21.

Villar-Burke, R., Jiménez-González, D., Larrumbide, E., & Tenorio, J. (2014). Impacto energético y emisiones de CO<sub>2</sub> del edificio con soluciones alternativas de fachada. *Informes de la Construcción*, 66(535), e030. doi:<http://dx.doi.org/10.3989/ic.12.085>

Wood for Good, (s.f.) *Facts about procuring sustainable hardwood*. Reino Unido. Recuperado de: <https://woodforgood.com/why-choose-wood/sustainable-procurement>

## ABSTRACT

The resistant structure of a work is essential, and therefore in addition to taking into account the type of material and the technological possibilities of each region, the associated environmental impact must also be considered. Today, in the Greater San Miguel de Tucumán, the structural system used in social housing is materialized through steel and concrete, the roof being the most incident element in the consumption of matter and energy. But in effect, the use of these materials turns out to be highly polluting. The objective of this study is to analyze the environmental impact referred to the potential global warming of each one of the types of roofs that are used in the materialization of social housing in this region. The greenhouse gas emissions of three types of roofs are compared: full slab, lightened slab with ceramic vault and a light roof with "C" profiles and galvanized sheets. The lightweight roof with a value of 58 kg CO<sub>2</sub> eq / m<sup>2</sup> is the most favorable in terms of lower CO<sub>2</sub> equivalent emissions. To this end, its use is optimized if the structural system of reinforced concrete beams, columns and bases is replaced by a bearing system resolved by means of wooden framework or galvanized steel profiles.

**KEYWORDS:** Life cycle assessment. Global warming potential. Carbon dioxide emissions