

Estimación de la Huella de Carbono de un Edificio Público

Analia Alvarez⁽¹⁾ y Alejandra Kurbán⁽²⁾

Resumen: Se aborda el análisis del ciclo de vida para determinar la huella de carbono de un edificio público en zona árida. Se toma como caso de estudio el Centro Ambiental Anchipurac (CAA) San Juan, Argentina. Se considera un enfoque de la “fábrica a la tumba”, una vida útil de 50 años y kilos por metro cuadrado (kg/m²) como unidad funcional. Se excluyen las etapas de extracción y procesamiento de la materia prima. Las emisiones de CO₂, se obtienen de la suma de la energía operativa, la energía incorporada y el transporte al vertedero. Corresponden al CAA 14.991.294,48 kgCO₂eq.

Palabras Clave: Ciclo de Vida Edificio - Metodología Simplificada - Arquitectura Sostenible - Impacto Ambiental - Huella de Carbono.

[Resúmenes en inglés y portugués en la página 194]

⁽¹⁾ Doctora en Arquitectura. Profesor Asociado en el Instituto de Mecánica Aplicada – IMA de la Facultad de Ingeniería (FI) de la Universidad Nacional de San Juan (UNSJ). Investigador Asistente del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) en Instituto Regional de Planeamiento y Hábitat – IRPHA – CONICET. Miembro del Comité Académico del Doctorado en Arquitectura y Urbanismo de la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño (FAUD) de la UNSJ. Miembro del Comité de Posgrado de la FI-UNSJ.

⁽²⁾ Doctora en Arquitectura y Urbanismo. Profesora Titular Exclusiva UNSJ. Profesional Principal CONICET. Directora Instituto en Estudios en Arquitectura Ambiental – FAUD. Coordinadora Taller Vertical de Arquitectura Ambiental (Años 3ro-4to-5to). Docente Maestría Zonas Áridas y Sísmicas – FAUD. Docente Maestría en Ecología Urbana – FcsE-FyN. Titular Consejo Académico de la Dirección de Posgrado FAUD. Titular Comité Académico Maestría Ecología Urbana. Directora proyectos investigación ANPCyT; PICTO, SECITI, CICITCA. Evaluadora CONEAU de carreras posgrado.

Introducción

Los combustibles fósiles han sido los principales impulsores de la economía en los últimos 150 años, permitiendo que la población mundial se multiplicara seis veces. Este crecimiento, que debió ser moderado y proporcionado, produjo un aumento de la complejidad de los sistemas urbanos a lo largo del tiempo. En consecuencia, el virtual agotamiento de las reservas naturales resultante de su uso indiscriminado como generadoras de recursos energéticos, es uno de los mayores problemas con los que se enfrenta actualmente la civilización.

En relación con el sector de la construcción, a nivel mundial se calcula que los edificios consumen aproximadamente la mitad de la energía no renovable utilizada por el hombre. En Argentina, se observa que este consumo es del 37% respecto del total. Estos consumos de energía fósil producen gases de efecto invernadero que aumentan el calentamiento global, considerado una de las tres amenazas de la seguridad humana del futuro (Viegas, 2011).

Para Zabalza Bribián et al. (2014) el uso masivo de materiales de carácter global como el cemento, el aluminio, el hormigón, el PVC, etc., ha causado un incremento notable en los costes energéticos y ambientales. Adicionalmente, según diversos estudios, la fabricación de los materiales precisos para construir un metro cuadrado de una edificación estándar puede suponer la inversión de una cantidad de energía equivalente a la producida por la combustión de más de 150 litros de gasolina. Cada metro cuadrado construido conllevaría una emisión media de 0,5 toneladas de dióxido de carbono y un consumo energético de 1600 kWh, si solo se considera el impacto asociado a los materiales.

Por otro lado, Carballal (2012) sostiene que el comportamiento ambiental no ha sido tradicionalmente uno de los valores demandados por los consumidores a la hora de ejercer su opción de compra. Sin embargo, en los últimos años ha aparecido un perfil de consumidor que demanda información sobre el comportamiento ambiental de los productos. Análogamente, la legislación y normativas existentes en muchos sectores como el de la construcción, intentan fomentar este diálogo. Uno de los mecanismos por el que se produce este intercambio de información es a través de los símbolos o etiquetas voluntarias que algunos productos incorporan. Al respecto, el consumo de recursos por parte de los edificios se produce tanto en su fase de uso como en las fases previas de fabricación y planificación; asimismo las etapas de mantenimiento, demolición o reciclaje, contribuyen al agotamiento de dichos recursos. Es por ello que para abordar la problemática ambiental resulta necesaria la consideración del Ciclo de Vida del edificio en su conjunto.

Dada la importancia de los impactos asociados a los materiales, resulta de interés profundizar en la estimación cuantitativa de los mismos como en estrategias de diseño que permitan la reducción de impactos (Villar-Burke, 2014). Para la UNEP (2004), asumir que las preferencias de la sociedad no están aisladas, sino que forman parte de un sistema más amplio, permite, por un lado, tomar decisiones pensando en el largo plazo y por otro considerar todas las cuestiones físico-ambientales y sociales pertinentes. En este sentido el concepto del Ciclo de Vida ayuda a evitar las decisiones de corto plazo capaces de degradar el ambiente.

El camino hacia edificios con consumo casi nulo exige una alta eficiencia energética y sistemas de producción y almacenamiento de energía y, en ellos la reducción de impac-

tos pasa cada vez más por el control de la energía incorporada a partir del diseño de los procesos y elementos edilicios, así como de la adopción de estrategias de durabilidad y rehabilitación adecuadas (Villar-Burke, 2014).

Por lo anterior, se infiere que, el Análisis de Ciclo de Vida, es una de las metodologías más adecuadas para evaluar el impacto ambiental de cualquier tipo de producto o servicio, y, por tanto, puede aplicarse sobre un material o solución constructiva, o bien sobre un edificio o grupo de edificios. No obstante, la evaluación del sector de la construcción resulta especialmente compleja, dado que los procesos de producción asociados a un edificio están mucho menos estandarizados que la mayoría de los bienes manufacturados del mercado y de algún modo se podría hablar del carácter único de cada edificación. Por otra parte, la información disponible sobre el impacto ambiental de la producción y manufactura de los materiales de construcción es limitada, así como la información de los procesos actuales de construcción y demolición (Carballal, 2012).

Dado que puede predecirse un escenario de incremento de exigencias en lo que a eficiencia edilicia respecta (tanto en el sentido de mejora de la sustentabilidad de la edificación como de la transparencia en la comunicación de la información), resulta evidente que el sector de la construcción ha de realizar un notable esfuerzo de adaptación a nuevas pautas que definirán una novedosa forma de entender los procesos asociados al mismo.

Con base en lo antedicho, esta investigación, aborda un aspecto fundamental de la sostenibilidad en la arquitectura como es el Análisis de Ciclo de Vida de la edificación. En esta dirección, se pretende caracterizar y valorar los daños ambientales resultantes de la materialización de un edificio público. Para ello, se toma como caso de estudio el CENTRO AMBIENTAL ANCHIPURAC (CAA), que pertenece a la Secretaría de Estado de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Provincia de San Juan. Metodológicamente, se evalúan aquellos impactos ambientales derivados de su construcción que se relacionan con el cambio climático. Por tanto, los resultados alcanzados se corresponden con la cuantificación de las emisiones de dióxido de carbono asociadas a la vida útil del edificio caso de estudio. En este sentido, este trabajo resulta de interés en tanto aporta a la construcción de una base de datos relativa a los impactos ambientales de la tipología constructiva analizada, lo cual favorece la toma de decisiones en instancias iniciales de diseño.

Metodología y desarrollo:

La metodología utilizada en esta investigación se basa en las normas ISO 14040/20061, ISO 14044/20062 e IRAM 21931-1/12. Por tanto, se corresponde con: **Objetivos y Alcances, Análisis del Inventario, Evaluación de Impactos e Interpretación de los Resultados**. Al respecto, el cálculo de las CO₂ se obtiene a partir de la sumatoria de las emisiones asociadas a la energía operativa (fase previa), la energía incorporada (fase de uso) y el transporte al vertedero (fase fin de vida). Adicionalmente, se modeló el CAA con un software BIM, para obtener el cómputo de materiales y evaluación del rendimiento energético. Para la determinación de las emisiones en la fase previa se utilizó el software OpenLCA

y para determinar las emisiones totales, se empleó una matriz de optimización multiobjetivo (Álvarez, et al. 2018). Finalmente, para la evaluación de los impactos se utilizó la metodología descrita en IMPACT2002+, en tanto para la interpretación de los resultados, se consideró el análisis de escenarios alternativos.

Caso de Estudio

El Centro Ambiental Anchipurac (CAA) forma parte del Complejo Ambiental San Juan. Su función es promover la aplicación de nuevas tecnologías para la gestión ambiental y disposición de residuos, la investigación, la educación y la producción industrial desde una perspectiva centrada en el concepto de economía circular. Fue construido entre 2014 y 2016, con una superficie cubierta total de 3.035,85 m². Se desarrolla longitudinalmente a lo largo de un eje este-oeste de 180m lineales que integra recorridos didácticos, educativos y culturales (figura 1). Su distribución lineal, favorece la ventilación cruzada y permite lograr mayor luminosidad y ahorro energético, así como también, facilita el acondicionamiento térmico pasivo aprovechando la radiación solar en invierno y evitándose en verano. Adicionalmente, un 40% de la superficie del edificio se encuentra por debajo de los 2m de profundidad a los fines de aprovechar la pendiente natural del terreno y beneficiarse de la temperatura de la tierra. Utiliza energías limpias y renovables, como la solar fotovoltaica y la geotérmica por agua, las cuales complementan las instalaciones convencionales. Además, recolecta el agua de lluvia en canaletas exteriores para destinarla al riego de la forestación exterior. Asimismo, cuenta con biodigestores en los baños para reutilizar las aguas grises.

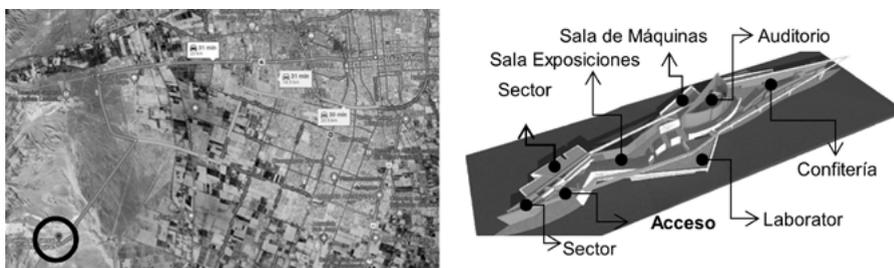


Figura 1. Localización del CAA y Áreas funcionales del edificio (fuente: elaboración propia en base a Google Maps y documentación técnica provista por el CAA).

Objetivos y Alcances

El Objetivo del Proyecto es definir el impacto ambiental en el cambio climático de un edificio público en zona árida, a partir de la determinación de las emisiones de dióxido de carbono asociadas al Ciclo de Vida del CENTRO AMBIENTAL ANCHIPURAC. Sobre dicha base se determinan como:

- Límite Espacial: El Centro Ambiental ANCHIPURAC, está ubicado a 20km del centro de la ciudad sobre calle Agustín Gómez y pie de monte de la Sierra Chica – La Bebida – Rivadavia, San Juan, Argentina y a 1,4km del Parque Industrial Tecnológico Ambiental Regional (PITAR).
- Límite Temporal: De acuerdo con la IRAM 21931-1/12, el Análisis del Ciclo de Vida propuesto involucra las Etapas de Uso y Fin de Vida, como también una aproximación de la Etapa correspondiente a la Construcción. Por tanto, podría considerarse que es un enfoque de la “fábrica a la tumba”.
- Unidad Funcional: Se adopta Kilos por metro cuadrado (Kg/m²) y se considera una vida útil de 50 años. Adicionalmente, el análisis se orienta a aquellos actores (decisores y ocupantes) que intervienen en el proceso de construcción sostenible.
- Fuentes de Información: Normas IRAM, Simulaciones, Consumos Registrados.
- Limitaciones: Queda fuera del análisis la Etapa de Extracción y Procesamiento de la materia prima. El cálculo de la Energía Incorporada (EI) considera que: el transporte (puesto de venta – obra) es realizado por un camión eje simple 4x2, cuya carga útil es de 7 toneladas y el consumo estimado es de 6 km/l de gasoil; la distancia promedio desde el punto de venta a la obra es de 20 km, estimada a partir de las características de la trama urbana del Área Metropolitana de San Juan (AMSJ) y la energía embebida se extrae de fuentes primarias de información. Para la Energía Operativa (EO), se consideran los consumos registrados por distribuidora de Energía Eléctrica de la Provincia de San Juan-Argentina, así como también el transporte de trabajadores y público en general al CAA. La etapa de fin de vida, se determina a partir de las emisiones asociadas al transporte de los residuos de la construcción y demolición, desde la obra hasta el vertedero (PITAR a 1,4km).

Cabe destacar que, a partir del análisis de los consumos energéticos registrados entre septiembre de 2021 y agosto de 2022, se estable que en promedio el CAA tiene un consumo mensual de 46945 kWh.

Análisis del Inventario

El análisis se centra en los elementos que integran el CAA cuyas características constructivas se detallan en la figura 2. Con base en ello, la cuantificación del CO₂ generado durante las etapas previa, de uso y fin de vida, se corresponde con la siguiente ecuación:

$$\text{Emisiones CO}_2 = \text{EIT} + \text{EO} + \text{TDF} \text{ [Kg CO}_2 \text{ eq]}$$

Donde:

$$EIT = (EIT_{PM} * FE) + (EIT_{TM} * FE) \text{ [kg CO}_2\text{eq/kWh]}$$

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

$$TDF = (Ccc * FC * FE) * CVFD \text{ [kg CO}_2\text{eq/kWh]}$$

$$EIT_{PM} = \sum EI_i * mi \text{ [kWh]}$$

$$EIT_{TM} = Comnec * FC \text{ [kWh]}$$

$$T = [(Cca * Cvd) * VU] * FC * FE \text{ [kg CO}_2\text{eq/kWh]}$$

$$Comnec = Ccc * Cv$$

$$CV = CapCT / Sup_{MT}$$

$$CVFV = \text{Volumen Edificio/volumen contenedor}$$

$$CapCT = Ccac / (masa * Sup_{MT}) \text{ [m}^2\text{]}$$

$$Cca = Dc / Aa$$

$$Ccc = D / Ac$$

$$Cvd = DL * Vdp$$

Siendo:

Aa: Autonomía automóvil familiar (0.734km/15).

Ac: Autonomía camión (6 km/l).

Cca: Consumo combustible automóvil familiar.

Ccc: Consumo combustible camión.

Ccac: Capacidad de carga admisible del camión (7000 kg).

CapCT: Capacidad de carga del camión en m² a transportar.

Com_{nec}: Combustible necesario para el transporte de materiales al punto de venta/obra.

Cv: Cantidad de viajes necesarios para transportar el material a la obra.

Cvd: Cantidad de viajes diarios.

CVFV: Cantidad de viajes necesarios para transportar el material al vertedero.

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

Dc: Distancia de la obra al centro de la ciudad en km.

DL: Días laborales anuales (365).

EBESJ: Energía necesaria en refrigeración, calefacción e iluminación de acuerdo con el consumo registrado por Energía San Juan.

EI_i: Energía incorporada de los elementos que componen los distintos paquetes constructivos.

EIT: Energía incorporada total.

EIT_{PM}: Energía incorporada total para la producción de materiales.

EIT_{TM}: Energía incorporada total para el transporte de materiales.

EO: Energía operativa.

FC: Factor de conversión.

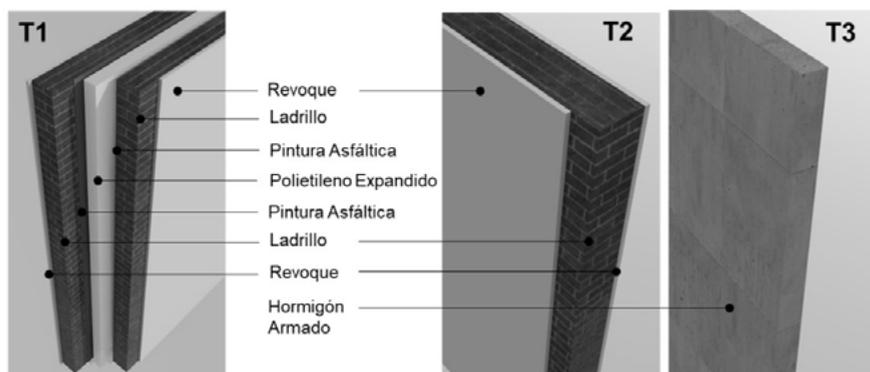
FE: Factor de emisión.

Sup_{MT}: Superficie del material a transportar.

TDF: Transporte a disposición final.

Vdp: Viajes diarios promedio de los empleados (aproximadamente 2).

VU: Vida útil del edificio (50 años).



- **Pisos y Losas:** Hormigón Armado espesor=15cm – Veredines espesor=5cm
- **Cubierta:** Chapa+Lana de Vidrio+Placa de Yeso espesor=98cm
- **Tabiques T4** Tipo Durlock espesor= 10cm

Figura 2. Elementos constructivos considerados en el análisis (fuente: elaboración propia con base en documentación técnica provista por el CAA, 2023).

Para la realización del cómputo de materiales se modeló el CAA en un software BIM. Adicionalmente, para la determinación de la energía incorporada, se utilizó el software OpenLCA.

OpenLCA es un software open source que permite la realización de análisis de ciclo de vida de distintos procesos. Para ello, toma como punto de partida información contenida en diferentes bases de datos ambientales, así como también la cantidad de kilos correspondientes a los componentes que integran el sistema a analizar. Al respecto, en esta investigación se usó:

- Versión: OpenLCA 1.11.0
- Bases de Datos utilizadas: bioenergiedat_18; usda_1901009; elcd_3_2_greendelta_v2_18; needs_18; ozlci2019; worldsteel_2020
- En general: Los procesos analizados se corresponden con la descripción de la producción de un metro cuadrado de las distintas tipologías que presentan los muros utilizados en la materialización del edificio, así como también las losas y contrapisos (Hormigones) y la cubierta. Las características de dichos elementos se extraen de detalles constructivos elaborados por los autores del proyecto con base en la información provista por los proyectistas del edificio.
- Para el cálculo de la masa se utilizan valores de la norma IRAM 11601.

Por otro lado, dado que no se cuenta con datos locales, la energía incorporada de los materiales utilizados en el CAA se obtiene de Quispe Gamboa (2016). Asimismo, el factor de

emisión considerado es 0,276kgCO₂eq/kWh (MAyDS, 2023) y los factores de conversión corresponden a: 11,70kWh por cada metro cúbico de gas natural y 10,96kWh por litro de gasoil.

Evaluación de Impactos

El cálculo de los impactos se realiza conforme a lo expuesto en IMPACT2002+. Para ello, se utilizan las expresiones expuestas en la Tabla 1.

Variable	Indicador	Referencias
Puntaje del impacto: se selecciona la categoría calentamiento global o cambio climático. El indicador que sirve para evaluar este impacto es el CII Climate Change Impact o impacto del cambio climático)	$CCI = \sum GWP_i \times m_i$ [Kg CO ₂]	<ul style="list-style-type: none"> - CCI: Indicador de cambio climático. - GWPI: Potencial de calentamiento global= 1 (horizonte temporal de 100 años) - m_i: Masa de la sustancia i. - Peso Unitario: su valor se obtiene del CIRSOC 101- Reglamento Argentino de Cargas Permanentes y Sobrecargas Mínimas de Diseño para Edificios y Otras Estructuras (2005) y de IRAM 11601.
Caracterización del daño: los potenciales de caracterización del punto medio se multiplican por los factores de caracterización del daño de las sustancias de referencia.	$CD = CCI \times F_d$ [kg CO ₂ eq]	<ul style="list-style-type: none"> - CD: puntaje de caracterización del daño - CCI: indicador de cambio climático - F_d: factor de daño; se obtienen de Jolliet et al., 2003
Normalización del daño: relación del impacto por unidad de emisión dividido en el impacto total de todas las sustancias de la categoría específica para las que existen factores de caracterización, por persona y año.	$ND = CD / F_n$ [kg CO ₂ eq]	<ul style="list-style-type: none"> - ND: puntaje de normalización del daño - CD: puntaje de caracterización del daño - F_n: factor de normalización del daño; se obtienen de Jolliet et al., 2003.
Ponderación del daño: se omite su realización en este análisis ya que, al momento de la realización de esta investigación, no hay una metodología estandarizada para su ejecución.		

Tabla 1. Evaluación de Impactos de acuerdo con metodología IMPACT2002+ (fuente: elaboración propia con base en Jolliet et al., 2003).

Interpretación

De acuerdo con la norma IRAM-ISO 14040:2008, corresponde a la fase de Interpretación la consideración conjunta de los resultados obtenidos en la Evaluación de impactos. Al respecto, la norma establece que la interpretación posee un enfoque relativo basado en efectos ambientales potenciales que no predicen los impactos reales. Su objetivo es establecer recomendaciones para quienes toman decisiones. Por tanto, involucra un proceso iterativo de revisión y actualización (validación y retroalimentación).

Bajo este enfoque, se realiza un estudio comparativo conforme a cuatro escenarios: muy favorable, favorable, base, desfavorable y muy desfavorable. Al respecto, el edificio de referencia (Vázquez Maestre, 2019) es un edificio obtenido a partir del edificio objeto, con su misma forma, tamaño, orientación, zonificación interior, uso de cada espacio, e iguales obstáculos remotos, y unas soluciones constructivas tipificadas (cumplimiento normativo). Con base en ello, se plantean cuatro edificios de referencia a partir del edificio objeto, Para determinar las características de los edificios de referencia, se analizan el consumo y la superficie de cuatro edificios de oficinas (Secretaría de Energía, 2010) en relación con los valores del CAA. Además, de acuerdo con lo expuesto en el apartado “Caso de estudio: descripción edilicia”, el CAA cuenta con energía renovable que supone una capacidad de mejora de su consumo energético del orden del 40% para el caso de energía fotovoltaica y geotermia, del 70% en refrigeración y del 50% en calefacción. A partir de dicho análisis, se establece que:

- Escenario Muy desfavorable: el consumo energético varía un 60% del de referencia posicionándose en 901336 kWh/año como resultado de no utilizar energías renovables.
- Escenario desfavorable: con una variación del 10% el consumo energético del edificio se corresponde con 619668.5 kWh/año como resultado de la falta de mantenimiento preventivo en las instalaciones.
- Escenario de Referencia: corresponde al consumo anual registrado entre septiembre de 2021 y agosto de 2022, el cual se encuentra en el orden de los 563335 kWh.
- Escenario Favorable: corresponde a la reducción del 50% del consumo de referencia (281667.5 kWh) como resultado de incrementar la potencia asociada a las energías renovables.
- Escenario Muy Favorable: reducción del consumo energético del 70% (169000.5 kWh) derivado de implementar más acciones de eficiencia energética.

Resultados

Para la fase análisis del inventario se utilizó la Matriz de Optimización Multiobjetivo (MOM) descrita en Alvarez y Ripoll (2018) y el software OpenLCA, respectivamente. Del análisis de los resultados alcanzados en dicha fase se desprende que, el mayor porcentaje de emisiones de CO₂ corresponde al consumo eléctrico registrado durante la etapa de

uso. Por lo tanto, las estrategias de reducción de emisiones deberían enfocarse, en el corto plazo, en disminuir las emisiones asociadas con el consumo energético del edificio. En una segunda instancia, debería considerarse el transporte desde la ciudad al CAA.

Por otro lado, de acuerdo con OpenLCA, el muro T1 es el que mayores impactos generó durante la etapa previa, situación que surge de considerar el aporte del cemento y de los ladrillos. No obstante, los resultados no corresponden a la base de datos nacional. Adicionalmente, se destaca que los materiales utilizados en el CAA totalizan 15.319.873,74 kgCO₂eq. Si comparamos este resultado con el obtenido en la MOM, para el mismo conjunto de materiales, se observa que los resultados son de igual orden. Al respecto, en OpenLCA se obtienen 7.714.268,54 kgCO₂eq y en la MOM= 9.160.806,64 kgCO₂eq. En este sentido, se requiere la revisión de los resultados obtenidos en función de la trazabilidad de las bases de datos utilizadas en la matriz de cálculo del software, las cuales, a diferencia de la MOM, no se obtienen de fuentes primarias de información.

En relación con los resultados obtenidos en la fase evaluación de impactos, se menciona que el valor total de CCI y C_D es de 14.991.294,48 kgCO₂eq, siendo la fase de uso la que mayores emisiones genera (13.447.011,24 kgCO₂eq). Por otro lado, dado que ND corresponde a personas por año, se infiere que el resultado total (1.506,65 personas año) debería dividirse en el límite temporal expuesto en el apartado objetivos y alcances, lo que arroja como resultado ND= 30 personas año.

En relación con los resultados alcanzados por cada escenario en la etapa de interpretación de los resultados, se infiere que los planes de acción debieran orientarse a disminuir el consumo energético del edificio para alcanzar los niveles favorable y muy favorable. Corresponden a dichos escenarios emisiones totales en el orden de 11.104.213,98 kgCO₂eq y 9.549.409,38 kgCO₂eq respectivamente.

A los efectos de contextualizar los resultados alcanzados y objetivizar el impacto del CAA, si se consideran los consumos energéticos de cuatro edificios públicos de Argentina analizados por la Secretaría de Energía en 2010, en los cuales se aplicaron estrategias orientadas a la rehabilitación energética, se obtiene que el CAA presenta un consumo energético por metro cuadrado “muy desfavorable”. Al respecto, el CAA registra un consumo de 185,56 kWh/m², con lo cual supera en un 357% los 52 kWh/m² de un edificio de oficinas de mayor superficie. No obstante, en Alvarez y Ripoll (2018) se analizan distintos emprendimientos urbanos de vivienda en el AMSJ, dentro de los cuales se encuentra el barrio Valle Grande, situado a 8,3km del CAA. Si comparamos las emisiones totales del CAA con las de dicho emprendimiento urbano, se obtiene que las emisiones de carbono asociadas al CAA corresponden a aproximadamente el 2% de las emisiones de CO₂ promedio de un conjunto habitacional estándar de 1000 viviendas. En otras palabras, las viviendas del barrio Valle Grande generarán, a lo largo de su ciclo de vida, 5025% más emisiones de CO₂ que el edificio caso de estudio de esta investigación.

Conclusiones

La rigurosidad climática del árido implica condiciones de uso específicas que condicionan el diseño y las características constructivas de sus edificios, lo cual resulta determinante del consumo energético posterior de los mismos. Por tanto, la investigación realizada aporta a generar datos referidos al análisis de ciclo de vida de edificios públicos en general, y en particular de aquellos localizados en zonas áridas, lo cual permite establecer una línea base a partir de la cual puedan gestionarse planes de acción orientados a la mitigación y adaptación al cambio climático.

Con base en lo antedicho, desde una perspectiva metodológica, resulta fundamental sistematizar la información energética de los edificios públicos con el fin de alcanzar mayores niveles de trazabilidad de los datos a utilizar en el análisis de ciclo de vida. Esto debería constituir un estudio habitual cuya información se procese anualmente y de la cual surjan propuestas orientadas al mejoramiento de los planes de mantenimiento y operación de los equipos.

Adicionalmente, para el edificio caso de estudio, establecer dichas propuestas implica la consideración de: tiempo de los recorridos, cantidad de uso de los juegos por parte de los visitantes, aporte real de la energía renovable a la reducción del consumo energético del edificio, actualización de las actividades que se realizan en el edificio y sus respectivas necesidades energéticas, entre otros.

Referencias bibliográficas

- Álvarez, 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 zonas árido-sísmicas, *Revista Hábitat Sustentable* 8: 52-67. doi.org/10.22320/07190700.2018.08.02.04
- Carballal, B. R. (2012). Propuesta Metodológica de Aplicación Sectorial de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) para la evaluación ambiental de la edificación en España. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Madrid.
- IRAM 11601. Aislamiento térmico de edificios. Métodos de cálculo. Propiedades térmicas de los componentes y elementos de construcción en régimen estacionario. UNSJ. Biblioteca de la Facultad de Ingeniería. Instituto de Mecánica Aplicada. Norma. Argentina, 2002.
- IRAM 21931-1/12. Construcción sostenible. Marco de referencia para los métodos de evaluación del desempeño ambiental de las obras de construcción. Parte 1- Edificios. UNSJ. Biblioteca de la Facultad de Ingeniería. Instituto de Mecánica Aplicada. Norma. Argentina, 2012.
- Jolliet O., Margni M., Charles R., Humbert S., Payet Jérôme, Rebitzer G. y Rosenbaum R. (2003). IMPACT 2002+: A new life cycle impact assessment methodology. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 8: 324-330. doi.org/10.1007/BF02978505

- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable. (2023). Quinto Informe Bienal de Actualización de Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/5to%20Informe%20Bial%20de%20Actualizaci%C3%B3n%20de%20la%20Rep%C3%ABlica%20Argentina.pdf>
- Quispe Gamboa, C. N. (2016). *Análisis de la Energía Incorporada y Emisiones de CO2 aplicada a viviendas unifamiliares de eficiencia energética* [Tesis de maestría. Universidad Politécnica de Cataluña] <https://www.waie.webs.upc.edu/maema/wp-content/uploads/2016/10/Quispe-Gamboa-Claudia-Nataly.pdf>
- Secretaría de Energía de Argentina. (2010). *Programa de Uso racional y Eficiente de la Energía en Edificios Públicos. Resultados de las unidades de demostración*. Programa de Ahorro y Eficiencia Energética en Edificios Públicos. https://www.energia.gov.ar/contenidos/archivos/Reorganizacion/eficiencia/2016/informe_unidades_demostracion_ee.pdf
- Vázquez Maestre, I. (2019). Optimización energética de la envuelta e instalaciones del C.E.I.P. Concepción Estevarena. Universidad de Sevilla. Consultado 7 de agosto 2022. https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/92462/descargar_fichero/TFG-2462-VAZQUEZ.pdf
- Viegas, G. M. (2011). Desarrollo metodológico a partir de mosaicos urbanos para evaluar la eficiencia energética y el aprovechamiento de la energía solar en el marco de la sustentabilidad urbana. *Ambiente Construido*, 11 (2), 2011139-155.
- Villar-Burke, R. J.-G. (2014). Impacto energético y emisiones de CO2 del edificio con soluciones alternativas de fachada. *Informes de la Construcción*, 66 (535), 1-7.
- Zabalza Bribián I., Días de Garayo S., Aranda Usón A. y Scarpellini S. (2014). *Impacto de los materiales de construcción, análisis de ciclo de vida*. Consultado el 30 de mayo de 2024. <http://www.ecohabitar.org/impacto-de-los-materiales-de-construccion-analisis-de-ciclo-de-vida/>.

Abstract: The life cycle analysis is applied to determine the carbon footprint of a public building in an arid zone. The Anchipurac Environmental Center (CAA) in San Juan-Argentina is the case study. A “factory to grave” approach is considered, with a useful life of 50 years and kilos per square meter (kg/m²) as a functional unit. The analysis excludes the raw material extraction and processing stages. CO₂ emissions came from operational energy, embodied energy, and transportation to landfill sum. 14,991,294.48 kgCO₂e_q corresponds to the CAA.

Keywords: Building Life Cycle - Simplified Methodology - Sustainable Architecture - Environmental Impact - Carbon Footprint.

Resumo: A análise do ciclo de vida destina-se a determinar a pegada de carbono de um edifício público numa zona árida. O Centro Ambiental Anchipurac (CAA) de San Juan, Argentina, é tomado como estudo de caso. É considerada uma abordagem “da fábrica até a sepultura”, uma vida útil de 50 anos e quilos por metro quadrado (kg/m²) como

unidade funcional. Estão excluídas as etapas de extração e beneficiamento da matéria-prima. As emissões de CO₂ são obtidas a partir da soma da energia operacional, energia incorporada e transporte até aterro. 14.991.294,48 kgCO₂eq correspondem à CAA.

Palavras Chave: Ciclo de Vida da Construção - Metodologia Simplificada - Arquitetura Sustentável - Impacto Ambiental - Pegada de Carbono.

[Las traducciones de los abstracts fueron supervisadas por el autor de cada artículo.]
