





# 10 PREGUNTAS DE LOS EDIFICIOS ENERGÍA CERO: REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE

Recibido 31/08/2020  
Aceptado 05/12/2020

## 10 QUESTIONS ABOUT ZERO ENERGY BUILDINGS: A STATE-OF-THE-ART REVIEW

MICAELA D'AMANZO

Arquitecta  
Becaria doctoral  
Instituto de Ambiente Hábitat y Energía (INAHE), Centro Científico Tecnológico CCT  
Mendoza, Argentina  
<https://orcid.org/0000-0002-1921-6827>  
[mdamanzo@mendoza-conicet.gob.ar](mailto:mdamanzo@mendoza-conicet.gob.ar)

MARÍA VICTORIA MERCADO

Doctora en Ciencias  
Investigador Adjunto  
Instituto de Ambiente Hábitat y Energía (INAHE), Centro Científico Tecnológico Mendoza CCT  
Mendoza, Argentina  
<https://orcid.org/0000-0003-1471-3709>  
[mvmmercado@mendoza-conicet.gob.ar](mailto:mvmmercado@mendoza-conicet.gob.ar)

CAROLINA GANEM KARLEN

Doctora en Arquitectura  
Investigador Independiente  
Instituto de Ambiente Hábitat y Energía (INAHE), Centro Científico Tecnológico Mendoza CCT  
Mendoza, Argentina  
<https://orcid.org/0000-0002-1431-1219>  
[cganem@mendoza-conicet.gob.ar](mailto:cganem@mendoza-conicet.gob.ar)

### RESUMEN

Los Edificios Energía Cero o ZEB (*Zero Energy Buildings*) promueven una mirada integral de la arquitectura sustentable y un cambio profundo en la manera de construir. La investigación y el desarrollo en transición energética deben necesariamente enfrentarse a problemas tecnológicos y socioeconómicos. En esa línea, la meta aquí es ofrecer una respuesta para minimizar el impacto energético y ambiental del sector edilicio. Se realizó, para ello, una revisión del estado del arte de la temática, donde se seleccionaron 97 artículos científicos considerados de mayor relevancia, en el período de 2006 a 2020. La metodología consistió en un análisis de esos textos a partir de diez preguntas formuladas para abordar la temática: sus orígenes, estado actual y proyecciones futuras en relación a la eficiencia energética y la sustentabilidad. Las preguntas hacen referencia a definiciones (P1), sustentabilidad (P2), tecnologías involucradas (P3), emisiones (P5), energía (P4) (P6) (P7), normativas (P8), cambio climático (P9) y proyecciones futuras (P10). El trabajo permite concluir que los ZEB se integran de manera holística en la transformación hacia un futuro renovable y sustentable en materia de soluciones energéticas y, a su vez, tienen potencialidad para ser implementados en diferentes posiciones geográficas y climáticas.

### Palabras clave

edificios, ZEB, sustentabilidad, eficiencia energética

### ABSTRACT

Zero Energy Buildings (ZEB) promote a comprehensive view of sustainable architecture and a profound change in the way to build. Research and development in energy transition must necessarily face technological and socio-economic issues. In that line, the goal here is to offer a response to minimize the building sector's energy and environmental impact. To this end, a review of the state of the art of the subject was carried out, where 97 scientific articles from a period comprising 2006 to 2020, considered the most pertinent, were selected. The methodology consisted of analyzing these texts based on ten questions formulated to address the subject: their origins, current status and future projections regarding energy efficiency and sustainability. The questions refer to definitions (Q1), sustainability (Q2), technologies involved (Q3), emissions (Q5), energy (Q4) (Q6) (Q7), regulations (Q8), climate change (Q9), and future projections (Q10). The work allows concluding that ZEB are integrated in a holistic way in the transformation towards a renewable and sustainable future in terms of energy solutions and, in turn, they have the potential to be implemented in different geographical and climatic positions.

### Keywords

buildings, ZEB, sustainability, energy efficiency

## INTRODUCCIÓN

El Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático o IPCC (International Panel for Climate Change) en conjunto con la Agencia Internacional de Energía o IEA (International Energy Agency) señalan que los edificios consumen el 40% de la energía final mundial y producen el 33% de emisiones de gas efecto invernadero, directa o indirectamente (IEA, 2008; IPCC, 2018). Asimismo, se ha estimado que entre 1971 y 2004 las emisiones de carbono han crecido alrededor de un 2,5% por año en edificios comerciales y un 1,7% por año en edificios residenciales; tendencia que se mantiene hasta la actualidad (Ürge-Vorsatz, Harvey, Mirasgedis y Levine, 2007; Lausten, 2008; Zhiqiang, Zhai y Helman, 2019).

Durante la última década, surgen los Edificios Energía Cero o ZEB (Zero Energy Buildings), también reconocidos como edificios de Energía positiva, Edificios de baja energía o Ecológicos. Con la intención de promover una mirada integral de la arquitectura sustentable y un cambio profundo en la manera de construir (Marszal y Heiselberg, 2015).

La Unión Europea en 2010, estableció que todos los estados miembros de la UE deben asegurar para el 31 de diciembre del 2020, que los edificios nuevos sean Edificios Energía Casi Nula o nZEB (nearly Zero Energy Building); y para el 31 de diciembre del 2018, todos los edificios públicos de planta nueva. (Comisión Europea, 2010, Art. 9, p. L 153/21)

Actualmente, la meta continúa siendo alcanzar el objetivo global planteado por el IPCC, que consiste en limitar el calentamiento global a 1.5°C con respecto a los niveles preindustriales (IPCC, 2018; Kylili y Fokaides, 2015).

Los ZEB prometen ser una herramienta fundamental para lograr la descarbonización del sector edilicio (Kosai y Tan, 2017; Xing, Hanaoka, Kanamori y Masui, 2018). Su funcionamiento está basado en que, mediante una alta eficiencia energética edilicia, con el uso de tecnologías de producción de energía con fuentes renovables, este sea capaz de igualar o, incluso, superar el consumo que requiere el edificio en un período anual (Berardi, 2018; Lund, Alberg, Connolly y Vad, 2017). Esto los diferencia de otros edificios concebidos en el marco de la sustentabilidad, ya que responden al balance energético neutro entre generación y demanda, limitando el uso de energía primaria (Sartori, Napolitano y Voss, 2012).

Entre las variables más importantes para comprender un ZEB, destacan: la unidad de medida; el periodo y todo tipo de energía incluida en el balance energético, junto con las opciones de provisión de energías renovables; la conexión con la infraestructura energética y la eficiencia energética; el ambiente interior; y la interacción edificio- red (Marszal et al., 2011).



Figura 1. Temas seleccionados para formular las 10 preguntas en torno a los ZEB. Fuente: Elaboración de los autores.

El propósito de minimizar el impacto ambiental y la huella de carbono del edificio durante todo su ciclo de vida demuestra que es importante evaluar el diseño del edificio de manera integral, ya que las tecnologías para generación de ER también generan impacto, asociado en parte a su fabricación y, luego, a su funcionamiento (Vares, Häkkinen, Ketomäki, Shemeikka y Jung, 2019).

Como prospectiva, se presentan como una realidad creciente hacia la mitigación de las emisiones generadas por el sector edilicio, siendo claves en la formación de ciudades inteligentes.

El objetivo del estudio que se expone fue realizar una revisión del estado del arte de la temática, organizada a partir de un formato de 10 preguntas que fueron producto de 5 temas que motivaron la selección bibliográfica: sustentabilidad, eficiencia energética, energías limpias, autonomía y cambio climático. A partir de las respuestas extraídas de dicha revisión analítica, se espera realizar una contribución al ámbito científico y académico en el debate sobre los ZEB.

## METODOLOGÍA

Se realizó una labor de revisión de literatura científica especializada, publicada entre el año 2006 y la actualidad, dado que aquel es el año donde aparece la temática abordada como foco de diversas investigaciones, para lo cual se emplearon dos motores de búsqueda web: Science Direct y Google Académico. La estrategia de búsqueda consistió en utilizar palabras claves relacionadas al estudio: nZEB, ZEB, NZEB, Edificios Energía Cero, edificios energía casi nula. Así, se obtuvieron más de 200 resultados del ámbito científico y académico. También se tuvieron en cuenta las referencias bibliográficas de los artículos encontrados. El análisis bibliográfico demostró la relación de la temática con los siguientes conceptos:



Figura 2. Estudio del marco conceptual. Fuente: Elaboración de los autores.

sustentabilidad, eficiencia energética, energías limpias, autonomía y cambio climático. Estos orientaron la realización del trabajo y, desde luego, dieron origen al Marco conceptual respectivo (Figura 2). En base a estos conceptos, identificados como referentes intrínsecos del origen de la temática de estudio, se delimitó el campo de estudio a 75 artículos académicos, libros y capítulos de libros. El enfoque de la presente revisión tuvo como fin fue dar respuesta a 10 preguntas fundamentales a la hora de iniciar el estudio de los Edificios de Energía Cero. En razón de ello, la bibliografía se clasificó en relación con la pregunta a la que ofrecían respuesta (Tabla 1 - Anexo) y con su fuente de origen: artículo de revista, capítulo de libro, artículo de conferencia o documento de organismo (Figura 3).

Las preguntas (P) se ordenaron partiendo de temas particulares referidos a los ZEB para, posteriormente, abarcar temas más globales como el cambio climático. Por tanto, quedaron organizadas de la siguiente forma: P1: concepto y definiciones; P2: sustentabilidad; P3: tecnologías involucradas en el diseño; P4: relación edificio-red; P5: emisiones de gases de efecto invernadero; P6: impacto en la matriz energética; P7: consumo del sector edilicio; P8: metodologías de evaluación; P9: impacto frente al cambio climático; y P10: prospectiva. De esta manera, se conforma el marco conceptual de 10 preguntas para el análisis propuesto.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### ¿QUÉ SE ENTIENDE POR EDIFICIOS ENERGÍA CERO (ZEB)?

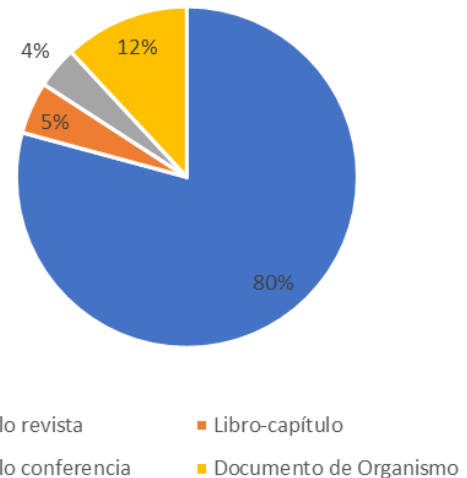


Figura 3. Origen de las fuentes revisadas. Fuente: Elaboración de los autores.

Existen diferentes interpretaciones o lineamientos sobre qué son los ZEB, que dependen de las condiciones climáticas, económicas o políticas del país al que ellas describen, pero comparten un objetivo común: reducir o neutralizar el impacto ambiental de los edificios (Attia, 2018).

La bibliografía muestra tres denominaciones principales: Edificios de Energía Cero (Zero Energy Buildings - ZEB), Edificios de Energía cero neta (Net Zero Energy Buildings- NZEB) y Edificios de Energía casi nula (nearly Zero Energy Buildings-nZEB) (D'Amanzo, Mercado y Ganem Karlen, 2019).

La nomenclatura ZEB se refiere a una noción amplia: edificios altamente tecnológicos de muy bajo o nulo consumo de

energía proveniente de la red de distribución externa. La energía necesaria para su funcionamiento proviene de fuentes renovables, en algunos casos exclusivamente de ellas, ya que dentro de esta tipología se incluyen los edificios autónomos (Marszal y Heiselberg, 2015). Tienen gran proporción de esta energía interna distribuida, para su uso en artefactos eléctricos, calefacción y refrigeración (Carlucci, Causone, Pagliano y Pietrobon, 2017). En oportunidades donde se produce excedente de energía, ésta puede volcarse a la red de distribución externa o almacenarse en baterías, en caso de edificios autónomos.

Los NZEB mantienen las mismas características de los ZEB, muy baja demanda de energía y alta producción de energía renovable en el sitio (Brambilla, Salvalai, Imperadori y Sesana, 2018). Poseen conexión a una infraestructura energética y se caracterizan por su balance energético neutro, medido en un periodo determinado -normalmente un año-, utilizando como indicador numérico kWh/m<sup>2</sup>/año (Booth, Barnett, Burman, Hambrick y Westby, 2010).

Los nZEB también poseen un alto rendimiento en cuanto a la eficiencia energética, puesto que el consumo anual de energía primaria está cubierto de forma muy significativa por la energía procedente de fuentes renovables, ya sea producida *in situ* o en las proximidades. Los valores de energía primaria varían de 20 kWh/m<sup>2</sup>/año a 180 kWh/m<sup>2</sup>/año en edificios residenciales (Piderit, Vivanco, Van Moeseke y Attia, 2019). Cabe mencionar que se trata de la denominación más nombrada y ejemplificada en la bibliografía consultada (D'Agostino, 2016; Marszal y Heiselberg, 2015; Sartori et al., 2012).

Las primeras investigaciones sobre la temática surgieron en Estados Unidos de América, en el Departamento de Energía (DOE), donde se definió a los ZEB como "edificios que obtienen suficiente energía renovable en el sitio para igualar o exceder el consumo de energía anual" (Crawley, Pless y Torcellini, 2009; Deru, Griffith y Torcellini, 2006). Inicialmente, se planteaba potenciar la eficiencia energética edilicia mediante ZEB residenciales para el año 2020, y mediante ZEB comerciales, para el 2025.

Torcellini, Pless y Deru (2006), en tanto, plantean cuatro conceptualizaciones que son consideradas en diversas investigaciones (Congedo, Baglivo, Zacà y D'Agostino, 2015; Good, Andresen y Hestnes, 2015; Harkouss, Fardoun y Biwole, 2019; Moschetti, Brattebø y Sparrevik, 2019):

- Energía cero neta en el sitio (*Net zero site energy*): "Edificio que produce la energía necesaria para su funcionamiento anual desde el sitio o terreno donde se ubica" (Torcellini et al., (2006, p. 5 );
- Energía cero neta para abastecimiento (*Net zero source energy*): "Edificio que produce la energía necesaria para su funcionamiento anual mediante energías renovables, minimizando el uso de energía primaria externa al mismo" (Torcellini et al., (2006, p.



Figura 4. Principios de diseño de un EEC. Fuente: Elaboración de los autores, en base a Attia (2018).

5 );

- Costos energéticos cero neta (*Net zero energy costs*): "Edificio donde los costos energéticos para el consumo anual son nulos, debido al intercambio de excedente de energía con la empresa distribuidora" (Torcellini et al., (2006, p. 5 );
- Emisiones cero neta desde la energía (*Net zero energy emissions*): "Edificio que produce tanta energía renovable libre de emisiones como la que utiliza de fuentes de energía que producen emisiones" (Torcellini et al., (2006, p. 5 ).

Paralelamente, Kilkis (2007) hace hincapié en que es necesario contabilizar la energía incorporada (exergía) en cada etapa del ciclo de vida del edificio, para establecer un balance completo de energía entre generación y demanda. Desarrolla, entonces, una nueva expresión conceptual: "Edificio Exergía Cero Neta" (*ZEXB- Net Zero Exergy Building*). Se trata de edificios que presentan una suma anual total de transferencia de energía equivalente a cero, para cuyo cálculo se contabiliza toda transferencia de energía que se lleve a cabo durante un determinado periodo. Años más tarde, Hernandez y Kenny (2010) presentarán una propuesta similar a través del término "Edificio Ciclo de vida Cero" (*Life Cycle Zero Energy Building - LC-ZEB*).

La Unión Europea en la Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo define a los nZEB como aquellos en los que una "casi nula o muy pequeña cantidad de energía requerida debe ser cubierta por una significativa cantidad de energía de fuentes renovables, producidas en el sitio o cercano al mismo" (Comisión Europea, 2010); librando a cada país miembro evaluar la cantidad de energía para consumo en enfriamiento, calefacción, agua caliente sanitaria y equipamientos, medidos en kWh/m<sup>2</sup>/año.

A su vez, desde países nórdicos, la literatura presenta conceptos que buscan integrar aspectos de la sustentabilidad de manera holística, como el de "Trias energética" (Mlecnik, 2012). La Figura 4 define a los ZEB





Figura 5. Modelo integrado de consumo optimizado de agua y energía. Fuente: Elaboración de los autores, a partir de Javanmard et al. (2020)

mediante una conjunción de variables, la EE con las medidas de conservación de la energía, la calidad del ambiente interior (IEQ), la disminución de emisiones de CO<sub>2</sub> causadas por el edificio y la generación de energía renovables (RES). Según Attia (2018), la unión de estas variables podría determinar principios de diseño arquitectónico adaptables a los intereses de los inversores.

A partir de los conceptos presentados, los ZEB se conciben como edificaciones que buscan el autoabastecimiento energético en una base anual y la disminución del impacto ambiental de manera integral durante todo su ciclo de vida. Dicho objetivo sólo podrá lograrse mediante la incorporación de mayor tecnología en ER. Por ese motivo, los nZEB se consideran el primer paso en sitios donde la tecnología necesaria para ello aún no se encuentre instalada. Las diferentes interpretaciones de los autores citados sientan bases para nuevas investigaciones en la temática.

### ¿QUÉ DISTINGUE A LOS ZEB FRENTE A OTROS EDIFICIOS CONCEBIDOS EN LA SUSTENTABILIDAD?

El diseño sustentable en arquitectura es un proceso de creación en el cual se establecen criterios de desarrollo sustentable, tales como: reducción de gastos en los recursos naturales empleados; reducción de la contaminación al suelo, aire y agua; mejoramiento del confort y de la calidad del interior del edificio; ahorro económico y financiero en los proyectos constructivos; y reducción de los desperdicios y desechos generados tanto en el proceso constructivo, de mantenimiento y de fin de la vida útil del edificio, como en el de fabricación de materiales constructivos y equipos para edificios (Hernández Moreno, 2008).

Los ZEB son edificios concebidos desde una perspectiva sustentable que, además, buscan conseguir un balance energético neutro entre generación y demanda sobre una base anual, reducir el consumo de agua y desechos, y con

esto, disminuir la huella de carbono del edificio durante todo su ciclo de vida (Mertz, Raffio y Kissock, 2007; Lausten, 2008; Ibn-Mohammed, 2017; Chastas, Theodosiou, Kontoleon y Bikas, 2018; Attia, 2018).

El consumo energético se vincula con los estándares de confort, considerando la sustentabilidad en la determinación del clima interior de los edificios y prefiriendo, en consecuencia, soluciones disponibles de baja energía (Nicol y Humphreys, 2002). Esta afirmación se manifiesta en los ZEB, donde se persiguen el confort interior, térmico y visual, por medio de recursos gratuitos de energía, como la ganancia solar y ventilación natural (Kalbasi, Ruhani y Rostami, 2019; Wei, Wargocki, Zirngibl, Bendžalová y Mandin, 2020).

Diversos estudios también los presentan como una solución frente al consumo del agua y los desechos producidos mundialmente por el sector edilicio -14% y 60%, respectivamente, según Petersdorff, Boermans y Harnisch (2006)-; y la reutilización de los residuos para nuevos fines y el reciclaje (Belausteguigoitia Garaizar, Laurenz Senosiain y Gómez Telletxea, 2010; De Gisi, Casella, Notarnicola y Farina, 2016). Por esta razón, son considerados una solución integral ante la problemática del consumo de energía y el deterioro ambiental (Guillén-Lambea, Rodríguez-Soria y Marín, 2017; Chastas et al., 2018; Piderit et al., 2019; Deng, Wang y Dai, 2014). La Figura 5 muestra el funcionamiento óptimo de un ZEB, de acuerdo con Javanmard, Ghaderi y Sangari (2020).

Para poder validar el comportamiento de un ZEB o nZEB se debe cumplir con un balance energético neutro o cercano a cero, en una base anual. Las unidades para el balance energético pueden ser la energía distribuida, energía primaria, CO<sub>2</sub> equivalente y exergía (D'Agostino, Marino, Minichiello y Russo, 2017). Otros parámetros, como la métrica del balance y el período de balance son definidos por normativa (Marszal et al., 2011).

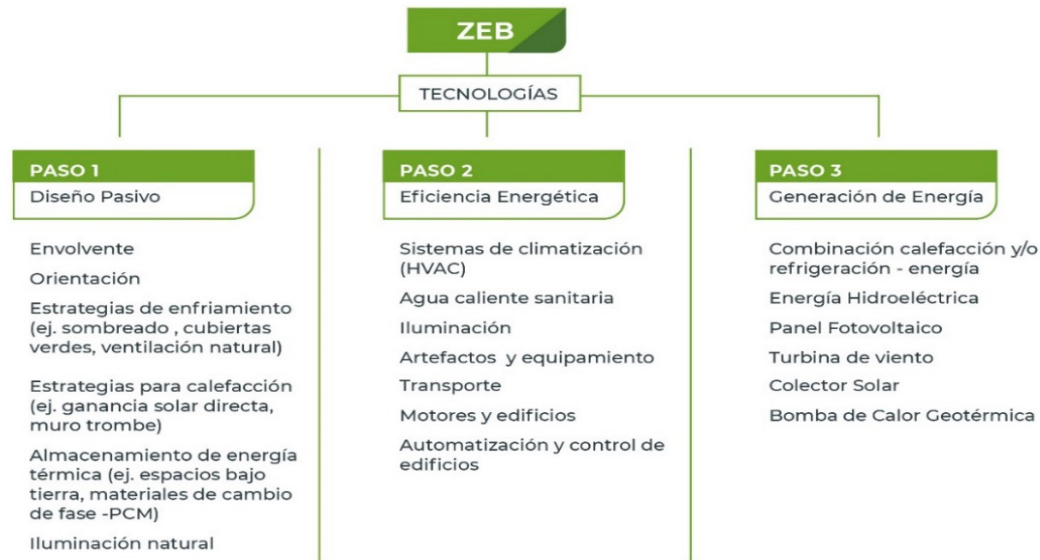


Figura 6. Tecnologías según categorías integradas en los ZEB. Fuente: Elaboración de los autores, a partir de Deng et al. (2014).

Sartori et al. (2012) distinguen tres tipos de balance: importación – exportación anual (Ecuación 1); demanda -generación anual (Ecuación 2) y demanda -generación mensual (Ecuación 3).

$$\sum e \times f_e - \sum i \times f_i = E - I \geq 0 \quad (1)$$

Donde  $E$  e  $I$  corresponde a exportada e importada y  $f$  al factor métrico (kWh, kWh/m<sup>2</sup>, CO<sub>2</sub>, exergía, etc.)

$$\sum g \times f_g - \sum d \times f_d = G - D \geq 0 \quad (2)$$

Donde  $G$  y  $D$  corresponde a generación y demanda y  $f$  al factor métrico (kWh, kWh/m<sup>2</sup>, CO<sub>2</sub>, exergía, etc.).

$$g_{m,e} = \sum_m \max[0 \cdot g_e(m) - d_e(m)]$$

$$d_{m,e} = \sum_m \max[0 \cdot d_e(m) - g_e(m)]$$

$$\sum g_{m,e} \times f_{g_{m,e}} - \sum d_{m,e} \times f_{d_{m,e}} = G_m - D_m \geq 0 \quad (3)$$

Donde  $G_m$  y  $D_m$  corresponde a generación y demanda mensual y  $f$  al factor métrico (kWh, kWh/m<sup>2</sup>, CO<sub>2</sub>, exergía, etc.)

La elección entre los tres tipos de balances dependerá del alcance que se establezca. Generalmente, se utiliza el balance de demanda y generación anual (Ecuación 2), ya que, según los autores, permite obtener mayor cantidad de resultados para analizar.

Por otro lado, si se requiere conocer las emisiones producidas directa o indirectamente durante los procesos relacionados a la construcción del edificio, su mantenimiento y fin de vida, se puede llevar a cabo el Balance Carbono Neutro (Moschetti et al., 2019; Seo, Passer, Zelezna y Hajek, 2016). A través de la herramienta de Análisis de Ciclo de vida del edificio (Fjola et al., 2018; Hernandez y Kenny, 2010; Jusselme, Rey y Andersen, 2018; Moschetti et al., 2019) o mediante fórmulas de cálculo de toneladas de carbono acumulados en la materialidad del edificio y cantidad de emisiones, según indica la ecuación 4 (Rodríguez Manrique, Kobiski y Fassi Casagrande Jr, 2014).

$$E_{kgCO_2} = \sum_{i=1}^n a_i \cdot b_i \cdot c_i \quad (4)$$

Donde  $a$  significa la cantidad de energía acumulada por tipo de material (MJ.m<sup>-3</sup>);  $b$ , el consumo porcentual de energía por fuente;  $c$ , la emisión de CO<sub>2</sub> por fuente (kgCO<sub>2</sub>.MJ<sup>-1</sup>);  $i$ , la tipología del material y  $n$ , la cantidad de material.

Se puede decir que el camino hacia un ZEB carbono neutro debe enfocarse fuertemente en la energía incorporada en los materiales y las emisiones, dado que la baja demanda de energía operativa ya es una prioridad regulada en la mayoría de los países (Moschetti et al., 2019).

### ¿CUÁLES SON LAS TECNOLOGÍAS INVOLUCRADAS PARA EL LOGRO DE LOS ZEB?

Las tecnologías involucradas para el logro de los ZEB son: Tecnologías pasivas y de conservación de la energía; Eficiencia Energética en el funcionamiento del edificio; y Tecnologías para producción de energía a partir de Energías Renovables (Cao, Dai y Liu, 2016).

En el paso 1 (Figura 6), se observan numerosos estudios que tratan la envolvente, promueven el uso de materiales de baja emisión de carbono y la ventilación natural para disminuir la posibilidad de sobrecalentamiento dentro de los edificios (Li, Yang y Lam, 2013; Volf *et al.*, 2018). Moga y Bucur (2018) proponen la integración de nanomateriales, pues estos poseen 3 a 5 veces menor conductividad, junto a un espesor reducido, y sostienen que aquella podría ser una variante interesante en casos de rehabilitación edilicia, donde la opción de agregar espesor a la envolvente se dificulta.

En cuanto al paso 2 (Figura 6), sobre tecnologías para EE diversos autores fomentan la reutilización del aire interior mediante intercambiadores de aire para enfriamiento y calefacción (Bordoloi, Sharma, Nautiyal y Goel, 2018; Justo Alonso, Liu, Mathisen, Ge y Simonson, 2015; Liu, Li, Chen, Luo y Zhang, 2019) y los sistemas de automatización y control para un funcionamiento óptimo (Buso, Becchio y Corgnati, 2017; Hamdy, Nguyen y Hensen, 2016).

En relación al paso 3 (Figura 6), la literatura expone que la fuente de ER más utilizada en estos edificios es la energía solar. Mediante la integración de Paneles Fotovoltaicos para electricidad, sistemas para ACS y acondicionamiento solar térmico, combinados con sistema de bomba de calor (Jovanovic, Sun, Stevovic y Chen, 2017; Li *et al.*, 2013; Osseweijer, Hurk, Teunissen y Van Sark, 2018). Respecto a sistemas para enfriamiento, se incorporan nuevas tecnologías con disecantes y membranas, para fomentar el ahorro energético y bajo impacto ambiental (Chen y Norford, 2020).

## **¿UN ZEB PRODUCE ENERGÍA CONECTADA O AISLADA DE LA RED?**

Un ZEB produce energía renovable en el sitio para su abastecimiento y el excedente es intercambiado con la red externa. Cuando la generación de energía no es suficiente para cubrir las necesidades de consumo, se procede a tomar energía de la red externa (Berardi, 2018). En casos donde se cuenta con baterías de almacenamiento de energía, la energía eléctrica para el funcionamiento del edificio se extrae desde tres fuentes: renovables intermitentes (por ejemplo, Solar Fotovoltaica); batería de almacenamiento de energía; e infraestructura externa. La suma de energía entre ellas es consumida por la demanda solicitada (Kosai y Tan, 2017).

Para el U.S. Department of Energy y The National Institute of Building Sciences (2015), la designación de ZEB debe ser utilizada sólo en edificios que han demostrado a través de sus mediciones anuales actuales que la energía distribuida es menor o igual a la energía renovable exportada desde el sitio.

Por su parte, Debbarma, Sudhakar y Baredar (2017) explican que la electricidad generada por los paneles fotovoltaicos

integrados puede satisfacer aproximadamente entre un 20% y 75% de los requerimientos de electricidad, dependiendo de la ciudad y su localización. La diferencia entre el tiempo de uso y el tiempo de generación de electricidad *in situ* o "cercana" dificulta la posibilidad de usar la electricidad en su totalidad para el autoconsumo. La conexión a la red suele ser necesaria para permitir el verdadero equilibrio físico de energía cero. Por lo tanto, se asume que el exceso de electricidad generada en el sitio se envía de vuelta a la red, utilizando la red como almacenamiento ilimitado (Hermelink *et al.*, 2013). Dado lo dicho anteriormente, la variante de los edificios autónomos no se recomienda ya que el sistema de generación se sobredimensiona para alcanzar el autoconsumo y se requiere un sistema de almacenamiento de energía térmica y eléctrica de muy alto costo (Lausten, 2008).

Como ejemplo de interacción con la red, estudios realizados en países de Latinoamérica muestran avances importantes en sus legislaciones sobre "Generación distribuida", lo cual contribuye a alcanzar mayores posibilidades de integración en ZEB. En ese contexto, Vargas Gil *et al.* (2020) señalan que las mayores plantas solares fotovoltaicas de Sudamérica se localizan en Brasil y Chile, y destacan igualmente el plan de energías renovables de Argentina (renovAR) cuyo objetivo es el de adjudicar contratos de energía eléctrica a partir de fuentes renovables.

Así también, respecto a la generación distribuida para el autoconsumo, Costa Rica lleva un sistema de registro a través de la Dirección de Energía del Ministerio del Ambiente y Energía (MINAE) donde se evidencia un total instalado de 54.504,92 kW, en el marco del Decreto 39220 – MINAE, hasta abril de 2020, lo cual representa más de 1924 sistemas registrados (MINAE, 2015; Energía Estratégica, 2020). Chile, en tanto, cuenta con la ley 21.118 de 2018, donde se otorga el derecho a los clientes de las distribuidoras a generar su propia energía, autoconsumirla e inyectar sus excedentes a la red bajo la modalidad Net Billing (Ministerio de Energía, 2018). Y, en Argentina, se dispone de la ley N° 27.424, de similares condiciones (Honorable Congreso de la Nación Argentina, 2017).

## **¿CUÁL ES EL IMPACTO DE EMISIONES DE GEI INVOLUCRADO EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA MEDIANTE ER PARA EL FUNCIONAMIENTO DE LOS ZEB?**

La generación de energía mediante Energías Renovables es reconocida por su contribución hacia la disminución de GEI a la atmósfera. Según el IPCC, la integración rápida de EE y tecnologías de ER en edificios conducirá a una reducción drástica de las emisiones de CO<sub>2</sub> (Rogelj *et al.*, 2018).

Desde esa perspectiva, diversos trabajos comprueban que la generación de energías limpias produce impacto



ambiental. Hammond y Jones (2008) indican que, en paneles fotovoltaicos, las emisiones de CO<sub>2</sub> en placa fina son de 67 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> y monocristalinos de 242 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>. Según Finnegan, Jones y Sharples (2018), es esencial el estudio de análisis de ciclo de vida de las tecnologías nuevas y existentes para seleccionar el sistema adecuado.

La cantidad de GEI acumulado en los ZEB se encuentra asociado a los materiales y tecnologías instaladas en el edificio. Como ejemplo de ello, el gráfico de la Figura 7 resume los resultados de la investigación de Vares et al. (2019) en la que se comparó tres casos de edificación con un nZEB sin integración de ER. Allí, EEC1 corresponde a un edificio conectado a la red eléctrica exterior con integración de energía solar térmica para ACS, paneles FV de placa fina y colectores solares térmicos tipo plato; EEC2, a uno que no tiene conexión con la red eléctrica y posee iguales generadores de ER con el agregado de baterías para almacenar energía solar; y, EEC3, a otro que se encuentra conectado a la red eléctrica y genera la totalidad de energía para calefacción y ACS de energía solar térmica mediante colectores tipo plato parabólico.

En definitiva, se advierte que, durante un ciclo de vida estimado para los sistemas de 25 años, mientras mayor es la autonomía del edificio se incrementa la cantidad de emisiones acumuladas. Sin embargo, cuando la tecnología de ER seleccionada produce electricidad (caso EEC 1), genera un 40% menos de emisiones de GEI, en comparación con un nZEB, sin integración de ER (Vares et al., 2019).

La variante EEC1 demuestra que, bajo condiciones que consideran un usuario activo en materia de eficiencia energética, podrían combinarse estrategias de conservación de energía y así disminuir el porcentaje de emisiones durante el funcionamiento del sistema, principalmente para calefacción y enfriamiento.

Se puede decir que el impacto de GEI involucrado en los ZEB puede ser regulado por las decisiones de los inversores sobre las tecnologías a integrar en los edificios (Attia, 2016; Azzouz, Borchers, Moreira y Mavrogianni, 2017; Hernandez y Kenny, 2010; Lamnatou, Motte, Notton, Chemisana y Cristofari, 2018).

## ¿CUÁL ES O SERÍA EL IMPACTO EN LA MATRIZ ENERGÉTICA?

Los ZEB se integran de manera holística en Sistemas de Redes Inteligentes (*Smart Energy Systems*), en los sectores de electricidad, calefacción, enfriamiento, industria, edificios y transporte, con el fin de abordar soluciones para

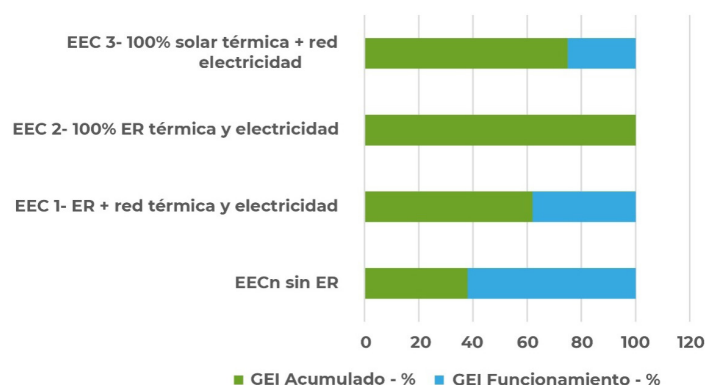


Figura 7. Gráfico comparativo porcentaje de emisiones de GEI para 25 años de funcionamiento por cada caso. Fuente: Elaboración de los autores, a partir de Vares et al. (2019).

la transformación hacia un futuro renovable y sustentable en materia de soluciones energéticas (Lund et al., 2017).

En este marco, Seljom, Byskov, Tomasgard, Doorman y Sartori, (2017) realizaron un análisis sobre la incidencia de estos edificios en la reducción del consumo energético con proyecciones al año 2030 y al 2050 para el sistema escandinavo. Los resultados revelaron una reducción del consumo de electricidad para calefacción de un 8% y un 18%, respectivamente. Teniendo en cuenta que se espera una renovación del total del stock edilicio en ZEB de un 25%, para 2030, y de un 50%, para 2050, esto cambiaría el funcionamiento de la generación de energía eléctrica flexible.

Los Sistemas de Calefacción y Refrigeración urbanos (*DHC-District heating and cooling*) están sustentado en la utilización de fuentes locales de calor, refrigeración y combustibles que, en circunstancias normales, se perderían. En la plataforma DHC (2012)<sup>1</sup>, para la UE, se plantean tres escenarios 2020-2030-2050, en los cuales está previsto extender las plantas existentes de producción de calor urbano e incrementar plantas solares-térmicas.

En Latinoamérica, se está progresando en políticas de eficiencia energética. En Argentina, por ejemplo, se ha avanzado en proyectos de certificación energética edilicia en la norma IRAM 11900-2017 "Prestaciones energéticas en viviendas. Método de cálculo y etiquetado de eficiencia energética" (IRAM, 2017), la cual persigue evaluar el uso final de energía convencional que contribuye a la demanda energética de la vivienda mediante los servicios de calefacción, refrigeración, iluminación artificial interior y calentamiento de agua sanitaria. Se mencionan las estrategias bioambientales de diseño como una manera efectiva de contribuir a la EE (Fernández, Garzón y Elsinger, 2020).

<sup>1</sup> Véase <https://www.euroheat.org/publications/brochures/district-heating-cooling-vision-towards-2020-2030-2050/>

En términos de generación de ER, se sanciona en el Decreto 1075/2017 la ley N° 27.424 "Régimen de fomento a la generación distribuida de Energía Renovable integrada a la red eléctrica pública" (Honorable Congreso de la Nación Argentina, 2017), donde se establecen las condiciones jurídicas y contractuales para la generación de energía eléctrica de origen renovable por parte de usuarios de la red de distribución. Se considera un avance importante en la legislación nacional argentina que puede dar pie a la integración de ZEB. Específicamente, el artículo 7° indica que

a partir de la sanción de la presente, todo proyecto de construcción de edificios públicos nacionales deberá contemplar la utilización de algún sistema de generación distribuida proveniente de fuentes renovables, conforme al aprovechamiento que pueda realizarse en la zona donde se ubique, previo estudio de su impacto ambiental en caso de corresponder, conforme a la normativa aplicable en la respectiva jurisdicción. (Honorable Congreso de la Nación Argentina, 2017, p. 4)

### ¿QUÉ INFLUENCIA TIENEN LOS ZEB EN EL CONSUMO DEL SECTOR EDIFICIO?

Los ZEB podrían establecer ahorros importantes en el consumo del sector. En efecto, se estima en ellos una demanda energética de un 25% a un 50% menor que la generada por los edificios convencionales (Häkämies et al., 2015). Para esto, se requiere, cabe subrayar, una conducta eficiente del usuario en la utilización de los sistemas pasivos y las tecnologías activas (Carpino, Mora, Arcuri y De Simone, 2017; Causone, Tatti, Pietrobon, Zanghirella y Pagliano, 2019)

En la Figura 8, se ilustran los diferentes sectores incluidos en los cálculos de balance, y se observa que el mayor potencial en ahorro energético se encuentra en la reducción de la demanda de calefacción y enfriamiento (Garde et al., 2014). Un edificio en climas templados, con la aislación apropiada, podría reducir la demanda de calefacción de un 20% a un 50% (Taleghani, Tenpierik, Kurvers y Van den Dobbelen, 2013). Para el logro de un diseño óptimo, el consumo debería ser de 30 kWh/m<sup>2</sup>/año (Hermelink et al., 2013). D'Agostino y Parker (2020) también consideran importante disminuir el impacto del consumo energético perteneciente a la iluminación y electrodomésticos.

En la Figura 9, se aprecia un ejemplo de funcionamiento y cálculo de los flujos energéticos dentro de un ZEB, donde las escalas concéntricas muestran, de afuera hacia adentro, la interacción del edificio con la red exterior. Primeramente, ingresa la energía primaria neta para cubrir la demanda térmica y eléctrica hasta el límite con el sistema de red exterior. El edificio toma la energía necesaria para consumo de los distintos sectores y cubre la demanda en conjunto con la energía generada de los sistemas de ER. Por último,

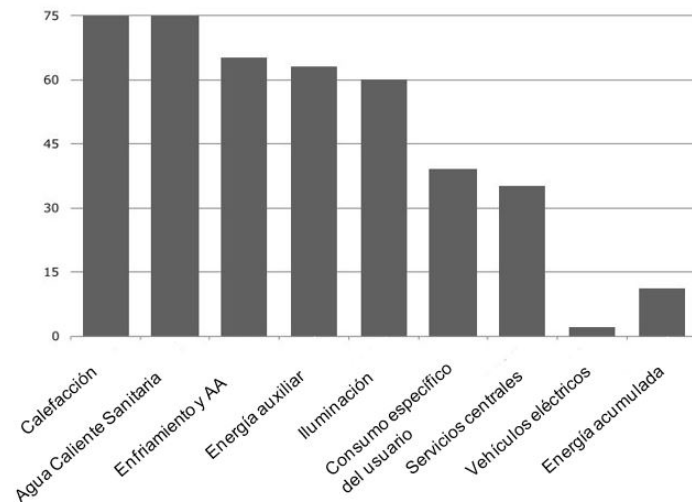


Figura 8. Demanda por sectores incluidos en el cálculo de balance para un ZEB. Fuente: Hermelink et al. (2013).



Figura 9. Ejemplo de cálculo de los flujos energéticos en un ZEB. Fuente: Elaboración de los autores, a partir de Berardi, (2018)

se exporta el sobrante al sistema de distribución, generando un balance positivo entre generación y demanda.

### ¿EXISTEN METODOLOGÍAS PARA LA EVALUACIÓN DE UN ZEB?

El concepto de ZEB requiere una metodología clara y consistente sobre el cálculo energético. Inicialmente, las incógnitas más importantes en este sentido trataban sobre la medida del balance, el periodo del balance, el tipo de energía incluida en el balance, tipo de balance energético, aceptar fuentes de energías renovables, la conexión con la infraestructura energética y los requerimientos para lograr

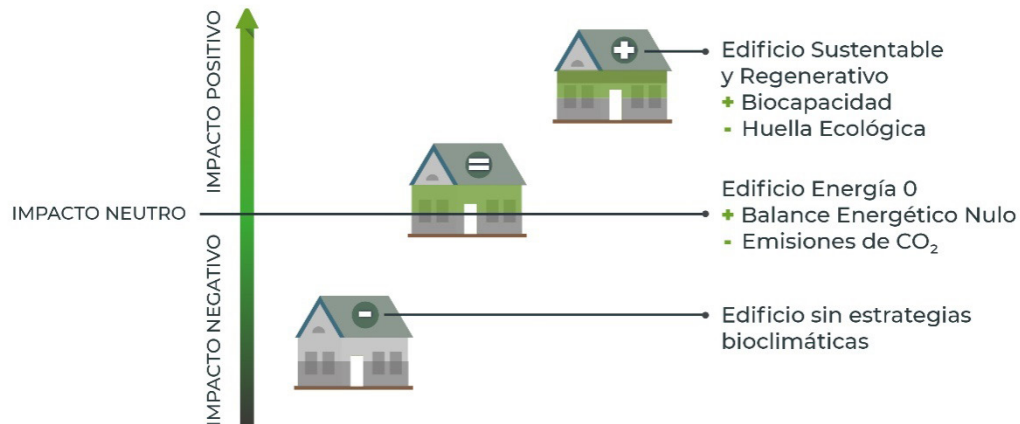


Figura 10. Visión de EEC como edificios regenerativos y sustentables. Fuente: Elaboración de los autores, a partir de Attia (2016).

eficiencia energética, clima interior y, en el caso de edificios con conexión a la red, interacción del edificio con la misma (Marszal et al., 2011).

Como referencia para determinar un marco regulatorio, la bibliografía resalta dos legislaciones principales: la promulgada por la Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo (EPBD) en la normativa 2010/31/EU del año 2010 y la establecida por el Departamento de Energía de los Estados Unidos (US DOE) "A Common Definition for Zero Energy Buildings" del año 2015. En la primera se indica que los edificios públicos construidos hasta el 31/12/18 deben ser de carácter nZEB y, consecuentemente, lo serán todos los edificios por construirse al 31/12/2020 (Comisión Europea, 2010; D'Agostino, 2016; Pacheco-Torgal, 2014). La segunda define como estrategia principal alcanzar viviendas ZEB comercializables para 2020 y edificios comerciales en 2025.

Años más tarde, el aporte de la IEA en conjunto con SHC (Solar Heating and Cooling) mediante el programa Task 40 – Conservación de la energía en Edificios y sistemas comunitarios (ECBCS) -Towards Zero Energy Solar Buildings- expondrán que hay tres pasos fundamentales para desarrollar un ZEB, proporcionando mayor flexibilidad en la toma de decisiones para el diseño de los edificios: optimizar el diseño del edificio pasivo, maximizar la eficiencia energética para minimizar la demanda energética del edificio y explorar la generación de energía renovable en el sitio para cubrir las necesidades existentes (IEA, 2015).

Actualmente, se procede a analizar la viabilidad técnica y económica de los ZEB mediante simulación paramétrica (Ferrara et al., 2020). Esta herramienta resulta valiosa para el diseñador, ya que permite plantear sugerencias de baja energía y optimizar el

modelo en el proceso de diseño de manera temprana y holística (Lobaccaro et al., 2018).

### ¿CUÁL ES EL IMPACTO DE LOS ZEB FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO?

El cambio climático (CC) desafía a tomar medidas de adaptación y mitigación en las construcciones. Estudios muestran que es posible reducir un 40% las emisiones del sector con las tecnologías disponibles en el mercado (United Nations Environment Programme - Sustainable Buildings & Climate Initiative, 2009). Las estrategias de mitigación se centran en el balance energético, el confort térmico y la interacción con las redes (Chai, Huang y Sun, 2019).

La integración de los EEC al ambiente construido, ya sea mediante edificios de planta nueva o rehabilitación de existentes, logrará una mayor calidad energética y ambiental en las construcciones, como respuesta ante la necesidad de crear ciudades resilientes que trae aparejado el CC, ya que éste solicita de conductas más autosuficientes en el uso de los recursos (Calvente, 2007). Se ha demostrado, en este contexto, que debido al aumento de la temperatura terrestre, en el futuro será necesario mejorar medidas pasivas de protección solar y avanzar en tecnologías para refrigeración en periodo de verano (Flores-Larsen, Filippín y Barea, 2019).

El impacto neutro conseguido a partir de la limitación del consumo de combustibles fósiles y el desarrollo energético neutro durante el ciclo de vida del edificio, puede volverse mayor y positivo. La búsqueda de la más alta eficiencia en la administración de los recursos no renovables y la máxima generación de aquellos renovables, contribuye a alcanzar una escala superior en materia de edificio sustentable (Attia, 2016). En la Figura 10, se vislumbra que el desarrollo positivo a través de los ZEB puede incrementar la biocapacidad





Figura 11. Comunidad nZEB, Zero carbon homes, Reino Unido. Fuente: Fotografía extraída de Bioregional Development Group (<https://www.bioregional.com/>).

y revertir la huella ecológica del edificio, los cuales pueden convertirse en edificios regenerativos.

### ¿CUÁLES SON LAS PROYECCIONES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS ZEB?

El crecimiento de la masa de ZEB ha trascendido mundialmente en los últimos años y se espera su continuidad. Desde esa óptica, el Parlamento Europeo y del Consejo (2018) ha declarado que

cada Estado miembro establecerá una estrategia a largo plazo para apoyar la renovación de sus parques nacionales de edificios residenciales y no residenciales, tanto públicos como privados, transformándolos en parques inmobiliarios con alta eficiencia energética y descarbonizados antes de 2050, facilitando la transformación económicamente rentable de los edificios existentes en edificios de consumo de energía casi nulo. (Parlamento Europeo y del Consejo, 2018, Art. 2, p. L 156/81)

A ello hay que añadir que, recientemente, China generó una versión de Normativa Técnica para ZEB (*Technical Standard for Nearly Zero Energy Buildings - GB/T 51350-2019*), donde se propone alcanzar el objetivo "tres 30% en el futuro: 30% de nuevos edificios de ultra-baja energía; 30% de energía renovables para edificios; y 30% de edificios antiguos restaurados como edificios de ultra-baja energía" (Luo et al., p. 2, 2020).

Se espera, en suma, que los ZEB contribuyan significativamente en las ciudades inteligentes (Kylili y Fokaidis, 2015). Ante este desafío, se plantea la idea de "Comunidad nZEB", basada en un concepto colaborativo, donde los edificios que pertenecen a ella pueden compartir libremente la generación de ER, el almacenamiento de energía e información (Huang y Sun, 2019). Rehman, Reda, Paiho y Hasan (2019) plantean la necesidad de buscar métodos de almacenamiento de energía eficientes técnica y económicamente asequibles. Otro ejemplo

en esta línea lo constituye el programa de viviendas multifamiliares ejecutado por políticas de gobierno en el Reino Unido, *Zero Carbon homes* (Figura 10), que representa un aporte en la transición hacia edificios bajos en carbono (Heffernan, Pan, Liang y de Wilde, 2015).

## CONCLUSIÓN

En el presente trabajo se respondieron, a partir de la revisión de la bibliografía existente, diez interrogantes sobre los ZEB, con el objetivo de identificar, desarrollar y comprender sus características principales.

El estado del arte indica que los ZEB se distinguen de otros edificios concebidos en el marco de la sustentabilidad, principalmente, por su logro de un balance energético neutro entre generación y demanda de energía; balance en el que también es posible considerar la cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> generadas durante todo el ciclo de vida del edificio. Esta condición puede conseguirse a través de dos vías. La primera de ellas responde mejor a los parámetros holísticos de la sustentabilidad y se basa en la eficiencia energética, en el acondicionamiento pasivo y en la restricción de su consumo energético para el logro del balance neutro a partir de una generación muy reducida de energía renovable. El riesgo está en que dicho balance neutro también puede obtenerse en base a una segunda vía dependiente de una gran producción de energía renovable propia, que representa un impacto frente al cambio climático en sí misma. Está comprobado que, en los sistemas de ER al 100% en los edificios autónomos, se generan emisiones de GEI acumuladas durante todo el ciclo de vida del sistema; condición que no puede ser solucionada, por lo que constituye una gran limitación.

Por consiguiente, se considera fundamental que, para el logro del balance neutro, las emisiones de gases de efecto invernadero, en especial de CO<sub>2</sub>, sean contabilizadas a lo largo de todo el ciclo de vida del edificio.

El consumo energético para calefacción y enfriamiento suele ser el más comprometido en los edificios, por lo que la literatura revisada propone conseguir ahorros en los ZEB de entre un 25% y 50%, respectivamente, limitando ambos a 30 kWh/m<sup>2</sup>/año.

En algunos casos, los ZEB utilizan un sistema de almacenamiento de energía que tiende a estar sobredimensionado, ya que las baterías son todavía una tecnología muy ineficiente, generando un alto nivel de ineficiencia y un alto costo de inversión.

En los casos de los ZEB con conexión a la red, la generación de energía se ve facilitada por el intercambio edificio – red, de modo que el usuario puede satisfacer

sus necesidades energéticas mediante ER y volcar el excedente de energía a la red, para que otros usuarios puedan hacer uso de la misma. La energía de la red queda disponible sólo en los momentos en los que la generación de ER es insuficiente. Se establece, así, la posibilidad de equilibrar las emisiones generadas por las ER durante el funcionamiento de los sistemas, a través de una conducta activa en materia de eficiencia energética por parte del usuario.

Mundialmente, el crecimiento de la masa de ZEB ha trascendido y se proyecta que esta tendencia se mantenga, fomentando nociones de comunidad y economía circular, lo que se ve sustentado por el fomento recibido desde las normativas de los principales países desarrollados. Se espera que los ZEB, en su trayecto hacia la alta eficiencia energética, formen parte del paradigma de Edificios Sustentables Regenerativos, que buscan contribuir a la biocapacidad de la tierra y a la disminución de la huella ecológica causada por el sector edilicio.

No obstante lo expuesto, las definiciones y diversificaciones planteadas, desde sus inicios, en la bibliografía especializada constituyen fundamentalmente base teórica por sobre experiencias empíricas, en especial cuando se trata de los países en vías de desarrollo. Dado que los índices métricos pueden variar según las limitaciones geográficas, tecnológicas, económicas, entre otras, es de esperar que Latinoamérica genere su propio enfoque holístico adaptado a las diferentes condiciones y realidades que la caracterizan.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Consejo Nacional de Investigación Científica y técnica (CONICET) por el soporte financiero para el desarrollo de esta investigación.

## ANEXO

**TABLA 1 (PARTE 1)**

EJE TEMÁTICO	UBICACIÓN	AUTOR / ANO PUBLICACIÓN	FUENTE
DEFINICIONES DIVERSIFICACIONES AUTONOMÍA	PREGUNTA 1	Atta, 2018 Torcellini, Pless y Deru , 2006 Brambilla, Salvalai, Imperadori, & Sesana, 2018 Booth, Barnett, Burman, Hambrick, & Westby, 2010 Congedo, Baglivo, Zacà y D'Agostino, 2015 Good, Andresen y Hestnes, 2015 Harkouss, Fardoun y Biwolle, 2019 Moschetti, Brattebø y Sparrevik, 2019 Kilkis, 2007 Hernandez & Kenny, 2010 Comisión Europea, 2010 Piderit, Vivanco, van Moeseke, & Attia, 2019 Delia D'Agostino, 2016 A. Marszal y Heiselberg, 2015 Sartori, Napolitano y Voss, 2012 Mlecnik, 2012	Net Zero Energy Buildings Conference for ACEEE Energy and Buildings NREL Technical Report Data in Brief Solar Energy Energy Energy and Buildings Proceedings of Energy Sustainability Energy and Buildings EU Directive Sustainability Publicaciones de I UE. AALBORG University Energy and Buildings Energy Efficiency
SUSTENTABILIDAD	PREGUNTA 2	Hernández Moreno, 2008 Kristinsson, 2012 Laustsen, 2008 Chastas et al., 2018 Atta et al., 2018 Guillén-lambea, Rodríguez-soria, & Marin, 2017 Chastas et al., 2018 Piderit, Vivanco, van Moeseke, & Attia, 2019 Deng et al., 2020 Diana D'Agostino, Marino, Minichiello, & Russo, 2017 A. J. Marszal et al., 2011 Sartori, Napolitano, & Voss, 2012 Moschetti et al., 2019 Seo, Passer, Zelezna, & Hajek, 2016 Fjola et al., 2018 Hernandez & Kenny, 2010a Jusselme, Rey & Andersen, 2018 Moschetti, Brattebø y Sparrevik, 2019 Rodríguez Manrique, Kobiski, & Fassi Casagrande Jr, 2014 Kalbasi, Ruhani, & Rostami, 2019 Wargocki, Zirmgibl, Bendžalová, & Mandin, 2020 Petersdorff, Boermans, & Harnisch, 2006 Belausteguigoitia Garaizar, Laurenz Senosiain, & Gómez Telletxea, 2010 De Gisi, Casella, Notarnicola, & Farina, 2016 Javanmard, Ghaderi, & Sangari, 2020	Acta Universitaria Libro Códigos EE Building and Environment Net Zero Energy Buildings Revista Hábitat Sustentable Building and Environment Sustainability Energy Energy Procedia Energy and Buildings Energy and Buildings Energy and Buildings Energy and Buildings International Energy Agency Energy and Buildings Energy and Buildings Energy Reviews Energy and Buildings, Revista Hábitat Sustentable Journal of Thermal Analysis and Calorimetry Energy and Buildings, EU Directive Sustainable Building Conference Civil Engineering and Environmental Systems Sustainable Cities and Society
TECNOLOGÍAS PASIVAS EFICIENCIA ENERGÉTICA ENERGÍAS RENOVABLES	PREGUNTA 3	Javanmard, Ghaderi, & Sangari, 2020 Li, Yang, & Lam, 2013 Volf et al., 2018 Moga & Bucur, 2018 Bordoloi, Sharma, Nautiyal, & Goel, 2018 Justo Alonso, Liu, Mathisen, Ge, & Simonson, 2015 Liu, Li, Chen, Luo, & Zhang, 2019 Buso, Becchio, & Corgnati, 2017 Hamdy, Nguyen, & Hensen, 2016 Jovanovic, Sun, Stevovic, & Chen, 2017 Osseweijer, Hurk, & Teunissen, 2018 Chen & Norford, 2020	Sustainable Cities and Society Energy Energy and Buildings International Conference Interdisciplinarity in Engineering Renewable and Sustainable Energy Reviews Building and Environment Applied Thermal Engineerin Energy Procedia Energy and Buildings Energy and Buildings Renewable and Sustainable Energy Reviews Energy and Buildings
DEMANDA Y GENERACIÓN DE ENERGÍA	PREGUNTA 4	Berardi, 2018 Kosai & Tan, 2017 U.S.Department of Energy & The National Institute of Building Sciences, 2015 Debbarma, Sudhakar, & Baredar, 2017 Hermelink et al., 2013 Lausten, 2008	Handbook of Energy Efficiency in Buildings Sustainable Cities and Society Reporte organismo Resource-Efficient Technologies European Commission Report International Energy Agency



**TABLA 1 (PARTE 2)**

ENERGIAS LIMPIAS	PREGUNTA 5	Rogelj et al., 2018 Hammond & Jones, 2008 Finnegan, Jones, & Sharples, 2018 Vares, Häkkinen, Ketomäki, Shemeikka, & Jung, 2019 Attia, 2016 Azzouz, Borchers, Moreira, & Mavrogianni, 2017 Hernandez & Kenny, 2010a Lamnatou, Motte, Notton, Chemisana, & Cristofari, 2018	IPCC Inventory of Carbon & Energy Energy and Buildings Journal of Building Engineering Sustainable Cities and Society Energy and Buildings Energy and Buildings Journal of Cleaner Production
IMPACTO EN MATRIZ ENERGÉTICA POLÍTICAS PÚBLICAS	PREGUNTA 6	Lund, Alberg, Connolly, & Vad, 2017 Seljom, Byskov, Tomasgard, Doorman, & Sartori, 2017 DHC, 2012	Energy Energy Euroheat & Power
CONSUMO DE ENERGÍA	PREGUNTA 7	Häkämies et al., 2015 Carpino, Mora, Arcuri, & De Simone, 2017 Causone, Tatti, Pietrobon, Zanghirella, & Pagliano, 2019 Garde et al., 2014 Taleghani, Tenpierik, Kurvers, & Dobbsteijn, 2013 Hermelink et al., 2013 Agostino & Parker, 2020	VTT Technical Research Centre of Finland Building Simulation Energy and Buildings Energy Procedia Renewable and Sustainable Energy Reviews
METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN CERTIFICACIÓN	PREGUNTA 8	A. J. Marszal et al., 2011 Comisión Europea, 2010 Delia D'Agostino, 2016 Pacheco-Torgal, 2014 U.S.Department of Energy & The National Institute of Building Sciences, 2015 IEA, 2015	Energy and Buildings DirectivaUE Energy Construction and Building Materials reporte organismo International Energy Agency.
CAMBIO CLIMÁTICO	PREGUNTA 9	UNEP, 2009 Chai, Huang, & Sun, 2019 Calvente M., 2007 Flores-Larsen, Filippin, & Barea, 2019 Attia, 2016	Reporte organismo Energy Resiliencia: un concepto clave para la sustentabilidad Energy and Buildings Sustainable Cities and Society
PROYECCIONES FUTURAS COMUNIDAD ZEB	PREGUNTA 10	Parlamento Europeo y del Consejo, 2018 Luo et al., 2020 Kylili & Fokaides, 2015 Huang & Sun, 2019 Rehman, Reda, Paiho, & Hasan, 2019 Heffernan, Pan, Liang, & de Wilde, 2015	DirectivaUE Applied Energy Sustainable Cities and Society Applied Energy Energy Conversion and Management Energy Policy

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Attia, S. (2016). Towards regenerative and positive impact architecture: A comparison of two net zero energy buildings. *Sustainable Cities and Society*, 26, 393–406. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.04.017>

Attia, S. (2018). Chapter 2: Evolution of Definitions and Approaches. En Attia, S. *Net Zero Energy Buildings (NZE)* (pp. 21–51). DOI: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-812461-1.00002-2>

Azzouz, A., Borchers, M., Moreira, J. y Mavrogianni, A. (2017). Life cycle assessment of energy conservation measures during early stage office building design: A case study in London, UK. *Energy and Buildings*, 139, 547–568. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.12.089>

Belausteguigoitia Garaizar, J., Laurenz Senosiain, J. y Gómez Telletxea, A. (2010). El reto de los edificios ZERO: el siguiente paso de la arquitectura sostenible. *SB10mad Sustainable Building Conference*, 10. Recuperado de <http://www.sb10mad.com/ponencias/archivos/d/D007.pdf>

Berardi, U. (2018). ZEB and nZEB (definitions, design methodologies, good practices, and case studies). En Desideri, U. y Asdrubali, F. (Eds.), *Handbook of Energy Efficiency in Buildings: A Life Cycle Approach* (pp. 88-116). Elsevier Inc.

Booth, S., Barnett, J., Burman, K., Hambrick, J. y Westby, R. (2010). Net Zero Energy Military Installations: A Guide to Assessment and Planning. *NREL Technical Report*, (August). Recuperado de <https://www.osti.gov/biblio/986668>

Bordoloi, N., Sharma, A., Nautiyal, H. y Goel, V. (2018). An intense review on the latest advancements of Earth Air Heat Exchangers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 89(April), 261–280. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.056>

Brambilla, A., Salvalai, G., Imperadori, M. y Sesana, M. M. (2018). Nearly zero energy building renovation: From energy efficiency to environmental efficiency, a pilot case study. *Energy and Buildings*, 166, 271–283. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.02.002>

Buso, T., Becchio, C. y Corgnati, S. P. (2017). NZEB, cost- and comfort-optimal retrofit solutions for an Italian Reference Hotel. *Energy Procedia*, 140, 217–230. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.11.137>

Calvente, A. (2007). Resiliencia: un concepto clave para la sustentabilidad. *Programa de Difusión e Investigación en Sustentabilidad, Centro de Altos Estudios Globales, Universidad Abierta Interamericana*. Buenos Aires. Recuperado de <http://www.sustentabilidad.uai.edu.ar/pdf/cs/UAIS-CS-200-003%20-%20Resiliencia.pdf>

Cao, X., Dai, X. y Liu, J. (2016). Building energy-consumption status worldwide and the state-of-the-art technologies for zero-energy buildings during the past decade. *Energy and Buildings*, 128, 198–213. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.06.089>

Carlucci, S., Causone, F., Pagliano, L. y Pietrobon, M. (2017). Zero-Energy Living Lab En Littlewood, J., Spataru, C., Howlett, R. y L. Jain, L. (Eds.). *Smart Energy Control Systems for Sustainable Buildings* (pp. 1-35). Springer, Cham. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-52076-6\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-52076-6_1)

Carpino, C., Mora, D., Arcuri, N. y De Simone, M. (2017). Behavioral variables and occupancy patterns in the design and modeling of Nearly Zero Energy Buildings. *Building Simulation*, 10(6), 875–888. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12273-017-0371-2>

Causone, F., Tatti, A., Pietrobon, M., Zanghirella, F. y Pagliano, L. (2019). Energy & Buildings Yearly operational performance of a nZEB in the Mediterranean climate. *Energy & Buildings*, 198, 243–260. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.05.062>

- Chai, J., Huang, P. y Sun, Y. (2019). Investigations of climate change impacts on net-zero energy building lifecycle performance in typical Chinese climate regions. *Energy*, 185, 176–189. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.07.055>
- Chastas, P., Theodosiou, T., Kontoleon, K. J. y Bikas, D. (2018). Normalising and assessing carbon emissions in the building sector: A review on the embodied CO<sub>2</sub> emissions of residential buildings. *Building and Environment*, 130(December 2017), 212–226. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.12.032>
- Chen, T. y Norford, L. (2020). Energy performance of next-generation dedicated outdoor air cooling systems in low-energy building operations. *Energy and Buildings*, 209. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109677>
- Comisión Europea (2010). Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios. *Boletín Oficial*, L135, 13–35.
- Congedo, P. M., Baglivo, C., Zacà, I. y D'Agostino, D. (2015). High performance solutions and data for nZEBs offices located in warm climates. *Data in Brief*, 5(2015), 502–505. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dib.2015.09.041>
- Crawley, D., Pless, S. y Torcellini, P. (2009). Getting to Net Zero. *ASHRAE Journal*, 51(9), 18-25.
- D'Agostino, D. (2016). *Synthesis Report on the National Plans for Nearly Zero Energy Buildings ( NZEBs ). Progress of Member States towards NZEBs*. DOI: <https://doi.org/10.2790/659611>
- D'Agostino, D. y Parker, D. (2020). A framework for the cost-optimal design of nearly zero energy buildings ( NZEBs ) in representative climates across Europe. *Energy*, 149, 814–829. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.02.020>
- D'Agostino, D., Marino, C., Minichiello, F. y Russo, F. (2017). Obtaining a NZEB in Mediterranean climate by using only on-site renewable energy: Is it a realistic goal? *Energy Procedia*, 140, 23–35. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.11.120>
- D'Amanzo, M., Mercado, M. V. y Ganem Karlen, C. (2019). Edificios de Energía Cero, Cero Neta y Casi Nula: Revisión de normativa y perspectivas futuras para países en vías de desarrollo. En *XI Congreso Regional de Tecnología de la Arquitectura* (pp. 1–11). Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina.
- De Gisi, S., Casella, P., Notarnicola, M. y Farina, R. (2016). Grey water in buildings: a mini-review of guidelines, technologies and case studies. *Civil Engineering and Environmental Systems*, 33(1), 35–54. DOI: <https://doi.org/10.1080/10286608.2015.1124868>
- Debbarma, M., Sudhakar, K. y Baredar, P. (2017). Resource-Efficient Technologies Comparison of BIPV and BIPVT: A review. *Resource-Efficient Technologies*, 3(3), 263-271. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.refit.2016.11.013>
- Deng, S., Wang, R. Z. y Dai, Y. J. (2014). How to evaluate performance of net zero energy building - A literature research. *Energy*, 71, 1–16. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.05.007>
- Deru, M., Griffith, B. y Torcellini, P. (2006). *Establishing Benchmarks for DOE Commercial Building R & D and Program Evaluation Preprint*. (No. NREL/CP-550-39834). National Renewable Energy Lab. (NREL), Golden, CO (United States).
- Energía Estratégica (2020). *Datos por país: En todos los mercados latinoamericanos crece la generación distribuida*. 24 de agosto de 2020. Recuperado de <https://www.energiaestrategica.com>
- Fernández, A., Garzón, B. S. y Elsinger, D. (2020). Incidencia de las estrategias pasivas de diseño arquitectónico en la etiqueta de eficiencia energética en Argentina. *Revista Hábitat Sustentable*, 10(1), 56–67. DOI: <https://doi.org/10.22320/07190700.2020.10.01.05> HS
- Ferrara, M., Lisciandrello, C., Messina, A., Berta, M., Zhang, Y. y Fabrizio, E. (2020). Optimizing the transition between design and operation of ZEBs: Lessons learnt from the Solar Decathlon China 2018 SCUTxPoliTo prototype. *Energy and Buildings*, 213. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109824>
- Finnegan, S., Jones, C. y Sharples, S. (2018). The embodied CO<sub>2</sub>e of sustainable energy technologies used in buildings: A review article. *Energy and Buildings*, 181, 50–61. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.09.037>
- Fjola, T., Houlihan-wiberg, A., Andresen, I., Georges, L., Heeren, N., Stina, C. y Brattebø, H. (2018). Is a net life cycle balance for energy and materials achievable for a zero emission single-family building in Norway? *Energy and Buildings*, 168, 457–469. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.02.046>
- Flores-Larsen, S., Filippín, C. y Barea, G. (2019). Impact of climate change on energy use and bioclimatic design of residential buildings in the 21st century in Argentina. *Energy and Buildings*, 184(December), 216–229. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.12.015>
- Garde, F., Lenoir, A., Scognamiglio, A., Aelenei, D., Waldren, D., Rostvik, H. N., ... y Cory, S. (2014). Design of net zero energy buildings: Feedback from international projects. *Energy Procedia*, 61, 995-998. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.11.1011>
- Good, C., Andresen, I. y Hestnes, A. G. (2015). Solar energy for net zero energy buildings - A comparison between solar thermal, PV and photovoltaic-thermal (PV/T) systems. *Solar Energy*, 122, 986-996. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2015.10.013>
- Guillén-Lambea, S., Rodríguez-Soria, B. y Marín, J. M. (2017). Comfort settings and energy demand for residential nZEB in warm climates. *Applied Energy*, 202, 471–486. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.05.163>
- Häkämies, S., Hirvonen, J., Jokisalo, J., Knuuti, A., Kosonen, R., Niemelä, T., ... y Pulakka, S. (2015). *Heat pumps in energy and cost efficient nearly zero energy buildings in Finland*. Finlandia: JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER,
- Hamdy, M., Nguyen, A. T. y Hensen, J. L. M. (2016). A performance comparison of multi-objective optimization algorithms for solving nearly-zero-energy-building design problems. *Energy and Buildings*, 121, 57–71. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.03.035>
- Hammond, G. y Jones, C. (2008). *Inventory of carbon & energy: ICE* (Vol. 5). Bath: Sustainable Energy Research Team, Department of Mechanical Engineering, University of Bath.
- Harkouss, F., Fardoun, F. y Biwole, P. H. (2019). Optimal design of renewable energy solution sets for net zero energy buildings. *Energy*, 179, 1155–1175. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.05.013>

- Heffernan, E., Pan, W., Liang, X. y de Wilde, P. (2015). Zero carbon homes: Perceptions from the UK construction industry. *Energy Policy*, 79(2015), 23–36. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.01.005>
- Hermelink, A., Schimschar, S., Boermans, T., Pagliano, L., Zangheri, P., Armani, R., ... Musall, E. (2013). *Towards nearly zero- energy buildings definition of common principles under the EPBD Final report*. Recuperado de [http://Ec.Europa.Eu/Energy/Efficiency/Buildings/Doc/Nzeb\\_full\\_report.Pdf](http://Ec.Europa.Eu/Energy/Efficiency/Buildings/Doc/Nzeb_full_report.Pdf).
- Hernández Moreno, S. (2008). El herramienta para el desarrollo de la arquitectura y edificación diseño sustentable como en México. *Acta Universitaria, Dirección de Investigación y Posgrado, Universidad de Guanajuato*, 18(2), 18–23. DOI: <https://doi.org/10.15174/au.2008.143>
- Hernandez, P. y Kenny, P. (2010a). From net energy to zero energy buildings: Defining life cycle zero energy buildings (LC-ZEB). *Energy and Buildings*, 42(6), 815–821. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.12.001>
- Honorable Congreso de la Nación Argentina (2017). *LEY 27424 - Régimen De Fomento A La Generación Distribuida De Energía Renovable Integrada A La Red Eléctrica Pública. Boletín Oficial de la República Argentina*. Recuperado de <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/305000-309999/305179/norma.htm>
- Huang, P. y Sun, Y. (2019). A clustering based grouping method of nearly zero energy buildings for performance improvements. *Applied Energy*, 235(November), 43–55. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.10.116>
- Ibn-Mohammed, T. (2017). Application of mixed-mode research paradigms to the building sector : A review and case study towards decarbonising the built and natural environment. *Sustainable Cities and Society*, 35(September), 692–714. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.09.027>
- International Energy Agency (IEA) (2008). *Promoting Energy Efficiency Investments: Case Studies in the Residential Sector*. París: OECD Publishing. DOI: <https://doi.org/10.1787/9789264042155-en>.
- International Energy Agency (IEA) (2015). *Solar heating and cooling programme. Task 40 (EBC Annex 52) Towards Net Zero Energy Solar Buildings*. Recuperado de <http://task40.iea-shc.org/Data/Sites/1/publications/IEA-SHC-NZEB-Position-Paper.pdf>
- International Panel for Climate Change (IPCC) (2018). Grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático (IPCC). Comunicado de prensa 2018/24/PR, 1–5.
- IRAM (2017). *IRAM 11900. Prestaciones energéticas en viviendas. Método de cálculo y etiquetado de eficiencia energética*.
- Javanmard, M. E., Ghaderi, S. F. y Sangari, M. S. (2020). Integrating energy and water optimization in buildings using multi-objective mixed-integer linear programming. *Sustainable Cities and Society*, 62(March), 102409. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102409>
- Jovanovic, J., Sun, X., Stevovic, S. y Chen, J. (2017). Energy-efficiency gain by combination of PV modules and Trombe wall in the low-energy building design. *Energy and Buildings*, 152, 568–576. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.07.073>
- Jusselme, T., Rey, E. y Andersen, M. (2018). An integrative approach for embodied energy : Towards an LCA -based data-driven design method. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 88(March), 123–132. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.02.036>
- Justo Alonso, M., Liu, P., Mathisen, H. M., Ge, G. y Simonson, C. (2015). Review of heat/energy recovery exchangers for use in ZEBs in cold climate countries. *Building and Environment*, 84, 228–237. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.11.014>
- Kalbasi, R., Ruhani, B. y Rostami, S. (2019). Energetic analysis of an air handling unit combined with enthalpy air - to - air heat exchanger. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 139(4), 2881–2890 DOI: <https://doi.org/10.1007/s10973-019-09158-9>
- Kilkis, S. (2007). A new metric for net- zero carbon buildings. *Proceedings of Energy Sustainability*, 36263, 27–30. Recuperado de <http://proceedings.asmedigitalcollection.asme.org/> on 02/02/2016.
- Kosai, S. y Tan, C. (2017). Quantitative analysis on a zero energy building performance from energy trilemma perspective. *Sustainable Cities and Society*, 32(February), 130–141. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.03.023>
- Kylili, A. y Fokaides, P. A. (2015). European smart cities: The role of zero energy buildings. *Sustainable Cities and Society*, 15, 86–95. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.SCS.2014.12.003>
- Lamnatou, C., Motte, F., Notton, G., Chemisana, D. y Cristofari, C. (2018). Building-integrated solar thermal system with/without phase change material: Life cycle assessment based on ReCiPe, USEtox and Ecological footprint. *Journal of Cleaner Production*, 193, 672–683. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.032>
- Lausten, J. (2008). *Energy Efficiency requirements in building codes, Energy Efficiency policies for new buildings*. International Energy Agency Information Paper. Sweden. Recuperado de <https://www.osti.gov/etdweb/servlets/purl/971038>
- Li, D. H. W. W., Yang, L. y Lam, J. C. (2013). Zero energy buildings and sustainable development implications e A review. *Energy*, 54, 1–10. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2013.01.070>
- Liu, Z., Li, W., Chen, Y., Luo, Y. y Zhang, L. (2019). Review of energy conservation technologies for fresh air supply in zero energy buildings. *Applied Thermal Engineering*, 148(November), 544–556. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.11.085>
- Lobaccaro, G., Wiberg, A. H., Ceci, G., Manni, M., Lolli, N. y Berardi, U. (2018). Parametric design to minimize the embodied GHG emissions in a ZEB. *Energy and Buildings*, 167, 106–123. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.02.025>
- Lund, H., Alberg, P., Connolly, D. y Vad, B. (2017). Smart energy and smart energy systems. *Energy*, 137, 556–565. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.05.123>
- Luo, Y., Zhang, L., Liu, Z., Yu, J., Xu, X. y Su, X. (2020). Towards net zero energy building: The application potential and adaptability of photovoltaic-thermoelectric-battery wall system. *Applied Energy*, 258(September), 114066. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114066>



- Marszal, A. y Heiselberg, P. (2015). *A literature review of Zero Energy Buildings (ZEB) definitions*. DCE Technical Report N° 78. Department of Civil Engineering, Aalborg University. Recuperado de [https://vbn.aau.dk/ws/portalfiles/portal/18915080/A\\_Literature\\_Review\\_of\\_Zero\\_Energy\\_Buildings\\_\\_ZEB\\_\\_Definitions](https://vbn.aau.dk/ws/portalfiles/portal/18915080/A_Literature_Review_of_Zero_Energy_Buildings__ZEB__Definitions)
- Marszal, A. J., Heiselberg, P., Bourrelle, J. S., Musall, E., Voss, K., Sartori, I. y Napolitano, A. (2011). Zero Energy Building – A review of definitions and calculation methodologies. *Energy and Buildings*, 43(4), 971–979. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.12.022>
- Mertz, G. A., Raffio, G. S. y Kissock K. (2007). Cost Optimization of Net-Zero Energy House. *Energy Sustainability*, 477-487. DOI: <https://doi.org/10.1115/ES2007-36077>
- Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE) (2015). *Reglamento Generación Distribuida para Autoconsumo con Fuentes Renovables. Modelo de Contratación Medición Neta Sencilla. O. C. N° 24673.—Solicitud N° 7118.—(D39220-IN2015065290)*. Cartago, Costa Rica.
- Ministerio de Energía (2018). *Ley 21118. Modifica La Ley General de Servicios Eléctricos, con el fin de incentivar el desarrollo de las generadoras residenciales*. Santiago, Chile. Recuperado de <http://bcn.cl/2epdj>
- Mlecnik, E. (2012). Defining nearly zero-energy housing in Belgium and the Netherlands. *Energy Efficiency*, 5(3), 411–431. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12053-011-9138-2>
- Moga, L. y Bucur, A. (2018). Nano insulation materials for application in nZEB. En *11th International Conference Interdisciplinarity in Engineering, INTER-ENG 2017, 5-6 October 2017, Tirgu-Mures, Romania 2017, Tirgu-Mures, Romania* (Vol. Procedia M, pp. 309–316). Elsevier B.V. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.03.047>
- Moschetti, R., Brattebø, H. y Sparrevik, M. (2019). Exploring the pathway from zero-energy to zero-emission building solutions : A case study of a Norwegian office building. *Energy & Buildings*, 188–189, 84–97. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.01.047>
- Nicol, J. F. y Humphreys, M. A. (2002). Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings, *Energy and buildings*, 34(6), 563–572.
- Osseweijer, F. J. W., Van Den Hurk, L. B. P., Teunissen, E. J. y Van Sark W. G. (2018). A comparative review of building integrated photovoltaics ecosystems in selected European countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90(April), 1027–1040. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.001>
- Pacheco-Torgal, F. (2014). Eco-efficient construction and building materials research under the EU Framework Programme Horizon 2020. *Construction and Building Materials*, 51(2014), 151–162. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.10.058>
- Parlamento Europeo y del Consejo. (2018). Directiva (UE) 2018/844 del Parlamento Europeo y del Consejo de 30 de mayo de 2018 por la que se modifica la Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios y la Directiva 2012/27/UE relativa a la eficiencia energética. *Diario Oficial de La Unión Europea*, L 156/75, 75–91.
- Petersdorff, C., Boermans, T. y Harnisch, J. (2006). Mitigation of CO<sub>2</sub> Emissions from the EU-15 Building Stock Beyond the EU Directive on the Energy Performance of Buildings. *Environmental Science and Pollution Research*, 13(5), 350–358. DOI: <https://doi.org/10.1065/espr2005.12.289>
- Piderit, M., Vivanco, F., van Moeseke, G., & Attia, S. (2019). Net Zero Buildings—A Framework for an Integrated Policy in Chile. *Sustainability*, 11(5), 1494. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11051494>
- Rehman, H., Reda, F., Paiho, S. y Hasan, A. (2019). Towards positive energy communities at high latitudes. *Energy Conversion and Management*, 196(March), 175–195. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.06.005>
- Rodríguez Manrique, A. K., Kobiski, B. V. y Fassi Casagrande Jr., E. (2014). La Oficina verde, proyecto de la Universidad Tecnológica Federal de Paraná: su desempeño a nivel tecnológico y su impacto en el sector académico, privado y público. *Revista Hábitat Sustentable*, 4(1), 3–13.
- Rogelj, J., Shindell, D., Jiang, K., Fifita, S., Forster, P., Ginzburg, V., ... y Vilariño, M. V. (2018). Mitigation Pathways Compatible with 1.5°C in the Context of Sustainable Development. *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the Impacts of Global Warming of 1.5°C above Pre-Industrial Levels and Related Global Greenhouse Gas Emission Pathways, in the Context of Strengthening the Global Response to the Threat of Climate Change*. Recuperado de <https://www.ipcc.ch/report/sr15/>
- Sartori, I., Napolitano, A. y Voss, K. (2012). Net zero energy buildings: A consistent definition framework. *Energy and Buildings*, 48, 220–232. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.01.032>
- Seljom, P., Byskov, K., Tomasgard, A., Doorman, G. y Sartori, I. (2017). The impact of Zero Energy Buildings on the Scandinavian energy system. *Energy*, 118, 284–296. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.12.008>
- Seo, S., Passer, A., Zelezna, J. y Hajek, P. (2016). *International Energy Agency- Evaluation of embodied Energy and CO<sub>2</sub>eq for building Construction (Annex 57) Overview of Annex 57 Results*. Recuperado de [http://www.ieaebc.org/Data/publications/EBC\\_Annex\\_57\\_Results\\_Overview.pdf](http://www.ieaebc.org/Data/publications/EBC_Annex_57_Results_Overview.pdf).
- Taleghani, M., Tenpierik, M., Kurvers, S. y Van den Dobbelsteen, A. (2013). A review into thermal comfort in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 26, 201–215. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.050>
- Torcellini, P., Pless, S. y Deru, M. (2006). Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition. Conference Paper en *National Renewable Energy Laboratory* (June). Recuperado de <https://www.nrel.gov/docs/fy06osti/39833.pdf>
- United Nations Environment Programme - Sustainable Buildings & Climate Initiative (UNEP-SBCI). (2009). *Buildings and Climate Change: a Summary for Decision-Makers*. París: UNEP-DTIE Sustainable Consumption & Production Branch.
- U.S. Department of Energy & The National Institute of Building Sciences (2015). A Common Definition for Zero Energy Buildings. *U.S. Department of Energy*, (September). Recuperado de <https://www.buildings.energy.gov>

Ürge-Vorsatz, D., Harvey, L. D. D., Mirasgedis, S. y Levine, M. D. (2007). Mitigating CO<sub>2</sub> emissions from energy use in the world's buildings. *Building Research & Information*, 35(4), 379–398. DOI: <https://doi.org/10.1080/09613210701325883>

Vares, S., Häkkinen, T., Ketomäki, J., Shemeikka, J. y Jung, N. (2019). Impact of renewable energy technologies on the embodied and operational GHG emissions of a nearly zero energy building. *Journal of Building Engineering*, 22(December), 439–450. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.12.017>

Vargas Gil, G. M., Bittencourt Aguiar Cunha, R., Giuseppe Di Santo, S., Machado Monaro, R., Fragoso Costa, F. y Sguarezi Filho, A. J. (2020). Photovoltaic energy in South America: Current state and grid regulation for large-scale and distributed photovoltaic systems. *Renewable Energy*, 162, 1307–1320. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.08.022>

Volf, M., Lupíšek, A., Bureš, M., Nováček, J., Hejtmánek, P. y Tywoniak, J. (2018). Application of building design strategies to create an environmentally friendly building envelope for nearly zero-energy buildings in the central European climate. *Energy and Buildings*, 165, 35–46. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.01.019>

Wei, W., Wargocki, P., Zirngibl, J., Bendžalová, J. y Mandin, C. (2020). Review of parameters used to assess the quality of the indoor environment in Green Building certification schemes for offices and hotels. *Energy and Buildings*, 209, 109683. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109683>

Xing, R., Hanaoka, T., Kanamori, Y. y Masui, T. (2018). Achieving zero emission in China's urban building sector: opportunities and barriers. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 30, 115–122. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2018.05.005>

Zhiqiang J., Zhai J. y Helman M. (2019). Implications of climate changes to building energy and design. *Sustainable Cities and Society*, 44, 511-519.