

Retos para una definición de “Edificios de consumo energético casi nulo”

Challenges for a definition of Nearly Zero Energy Buildings

N. Collado ^{1*}, E. Himpe **, D. González *, L. Rueda *

* Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría, Cujae – La Habana, CUBA

** Universidad de Gante – Gante, BÉLGICA

Fecha de Recepción: 05/04/2019

Fecha de Aceptación: 07/08/2019

PAG 321-329

Abstract

The concept of ‘nearly zero energy buildings’ (nZEB) could represent a more sustainable aspiration within construction policies, although it has been a little analyzed approach in the Latin-American context. Currently there are different approaches in the world to determine the appropriate requirements and methodologies to define buildings as nZEB. The present work is based on an analysis of the main common variables defined in the international literature to establish this classification such as the buildings passive design, the energy balance methodology and the indicators of renewable energy. It is defined and it is discussed the five main challenges for Cuba, analyzed country as a study case, if a similar energy efficiency directive is implemented in buildings, based on a comparison between the European experience in energy efficiency and the national situation. The presented discussion about the challenge of establishing a suitable national directive according the regional features is useful for analyzing the Latin-American region.

Keywords: Nearly-zero energy buildings, energy efficiency, renewable energy sources, environmental performance of buildings, sustainable architecture

Resumen

La concepción de ‘edificios de consumo de energía casi nulo’ (nZEB) podría representar una aspiración más sostenible dentro de las políticas de construcción, aunque ha sido un enfoque poco analizado en el contexto Latinoamericano. Actualmente existen distintos enfoques en el mundo para determinar cuáles son los requerimientos y metodologías apropiados para definir a las edificaciones como nZEB. El presente trabajo parte del análisis de las principales variables comunes definidas en la literatura internacional para establecer esta clasificación, tal como el diseño pasivo de las edificaciones, las metodologías de balance energético y los indicadores de energía renovable. Se definen y discuten los cinco retos principales para poder establecer en el ámbito nacional, una directiva de eficiencia en edificaciones, similar a la del contexto europeo, a partir de una comparación entre la experiencia ya existente en este campo y el contexto actual de Cuba, país que se asume como caso de estudio. La discusión que se presenta ante tal desafío, resultaría válida para analizar el contexto latinoamericano actual.

Palabras clave: Edificios de consumo de energía casi nulo, eficiencia energética, fuentes renovables de energía, comportamiento ambiental de las edificaciones, arquitectura sostenible

1. Introducción

Las construcciones han sido consideradas responsables de una importante parte de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero. Por ello la Unión Europea (UE) ha establecido como meta para el 2020 que todas las nuevas edificaciones tendrán que ser “edificios de consumo de energía casi nulo” (nZEB, según sus siglas en inglés: Nearly Zero Energy Buildings). Esto significa que deberán ser edificios con una alta eficiencia energética y cubrir en gran medida su poca demanda de energía a partir de fuentes renovables en el sitio o cercana al mismo (Unión Europea, 2010). Esta posición ha cambiado la manera de resolver los problemas energéticos en las construcciones, debido a que ha integrado en un mismo objeto de análisis, las valoraciones de consumo y generación, además del impacto energético del diseño y la construcción. Este nuevo modelo de arquitectura cuenta con amplia recepción fuera del bloque regional europeo en contextos tan disímiles como los Estados Unidos, la India y China.

Con la implementación de la directiva regional europea, se suscitó fuertes discusiones acerca de la definición nZEB debido a su carácter genérico (Garde et al., 2014). Se cuestionó, entre otras cosas, los términos que quedaban a la interpretación individual, como cuánto significa “nivel de eficiencia energética muy alto”; cuál debería ser el monto de una “amplia medida de fuentes renovables de energía” o cuáles deberían ser los límites del “sitio y el entorno” para establecer que el objeto analizado es dentro o cerca de este. De acuerdo con (Sartori et al., 2012), la ambigüedad es necesaria para que cada Estado o región defina esta concepción según sus condiciones específicas de clima, infraestructura y tradiciones, entre otras. Proceso que efectivamente se ha ido llevando a cabo, y que en la actualidad el 60% de los Estados Miembros de la UE ya cuentan con un documento legal que establecen lo que consideran y aspiran que sea un edificio nZEB a partir de requerimientos que no son uniformes (Unión Europea, 2016).

Este tema ha sido poco discutido en el contexto latinoamericano, a pesar de que la asimilación de forma endógena de este nuevo paradigma mundial en la rama de las edificaciones contribuiría a elevar la resiliencia ante el cambio climático. El presente trabajo, es el resultado de una

¹ Autor de Correspondencia:

Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría – Cujae, CUBA
E-mail: ncollado@arquitectura.cujae.edu.cu



investigación más amplia, que debió enfrentarse en un inicio a estas definiciones para establecer un marco teórico actual y contextualizado. Se discuten los principales retos que conllevaría elaborar una directiva similar, a partir de los elementos claves que investigaciones previas han determinado para identificar a las edificaciones como *consumidoras de energía casi nula*. Se toma Cuba como caso de estudio, ya que a pesar de las acciones encaminadas a mitigar el calentamiento global y a garantizar la seguridad energética, todavía se requiere de proyecciones y enfoques más integrales en el sector de la construcción, para responder a los nuevos desafíos ambientales.

2. Materiales y métodos

Actualmente existen distintos enfoques que determinan los requerimientos y metodologías apropiadas a las edificaciones como nZEB. A pesar de que cada país posee indicadores y parámetros propios, varias investigaciones se han sustentado en un marco común con el fin de agrupar diversas tendencias (Unión Europea, 2016); (Sartori et al., 2012); (Marszal et al., 2011); (Hermelink et al., 2013).

Con vistas a establecer los retos que se presentan en el trabajo se parte de un estado del arte de los edificios de consumo casi nulo, a partir de publicaciones referenciadas, así como los informes sobre la implementación de las directivas energéticas nacionales y regionales. Dentro de los principios básicos investigados se encuentran: el diseño pasivo de las edificaciones, la eficiencia energética de los equipamientos, el confort humano, los sectores energéticos considerados, el límite físico del objeto de estudio, la normalización de indicadores y de datos climáticos, las opciones e indicadores de energía renovable, la relación con la infraestructura eléctrica, el almacenamiento de energía y la metodología en el balance. Esta primera etapa se basa en una investigación teórica a partir de la revisión bibliográfica de las normas y documentos regulatorios sobre el tema en diferentes países y regiones. En complemento, se realizaron entrevistas a expertos belgas que laboran en el Departamento de Arquitectura y Planeamiento Urbano, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de Gante.

En una segunda etapa se caracteriza en el contexto cubano las variables determinantes para una futura definición nacional de nZEB a partir de la principal bibliografía publicada sobre estos temas y entrevistas a expertos de las ramas de la energía, las fuentes renovables, la eficiencia energética y el diseño pasivo de las edificaciones.

La confrontación entre el estado del arte internacional y las principales deficiencias y conflictos a resolver en cada una de las variables en el país permitió definir lo que se consideran los cinco retos principales para implementar una directiva similar en el contexto cubano. Se discuten las principales problemáticas que tienen más peso para países en vías de desarrollo o que determinan en una forma diferente de analizar y solucionar el impacto energético de las edificaciones.

El principal desafío incuestionable radica en que esta temática no ha sido discutida con anterioridad en este país, por lo que se requeriría la realización de investigaciones multidisciplinares que permitan pautar parámetros e indicadores propios. Este análisis se presenta como un primer

acercamiento a esta problemática desde la visión de los autores.

3. Resultados y discusión

Reto 1: El impacto energético de las edificaciones tiene que ser limitado a partir de regulaciones.

Este es el principal objetivo de establecer una directiva para que los edificios sean de consumo casi nulo, lo cual significa reducirlo hasta un rango en el que se considere adecuada la inversión costo-beneficio. Cada directiva nZEB en Europa establece la metodología para estimar el balance energético permitido. De forma general, en todas se calcula la cantidad de energía primaria consumida en un año, a la cual se le sustrae el monto de generación a partir de fuentes renovables de energía (FRE) en el mismo período, y el resultado debe cumplir el rango ($\text{kWh/m}^2/\text{año}$) establecido por cada país (D'Agostino, 2015). Este valor no es uniforme en todos los casos, así como tampoco lo son los parámetros que se utilizan para definirlo. Una comparación preliminar entre nZEB internacionales y hoteles en La Habana arrojó como resultado que los indicadores en los casos cubanos seleccionados son el doble o inclusive el triple al de hoteles europeos clasificados como nZEB y de otros ejemplos considerados como nZEB en clima cálido húmedo (Collado et al., 2018) ver (Figura 1). Esto demuestra que en Cuba a pesar de que existen normas y que se toman medidas para evitar altos consumo de energía¹, no se cuenta con edificaciones de alta eficiencia energética equiparables a los estándares que se alcanzan internacionalmente.

¹ Dentro de estas medidas para el sector gubernamental se encuentra los planes energéticos, en los cuales se pone un coto a los consumos mensuales. La principal estrategia de control para el sector privado y residencial es el cobro a partir de tarifa diferenciada.

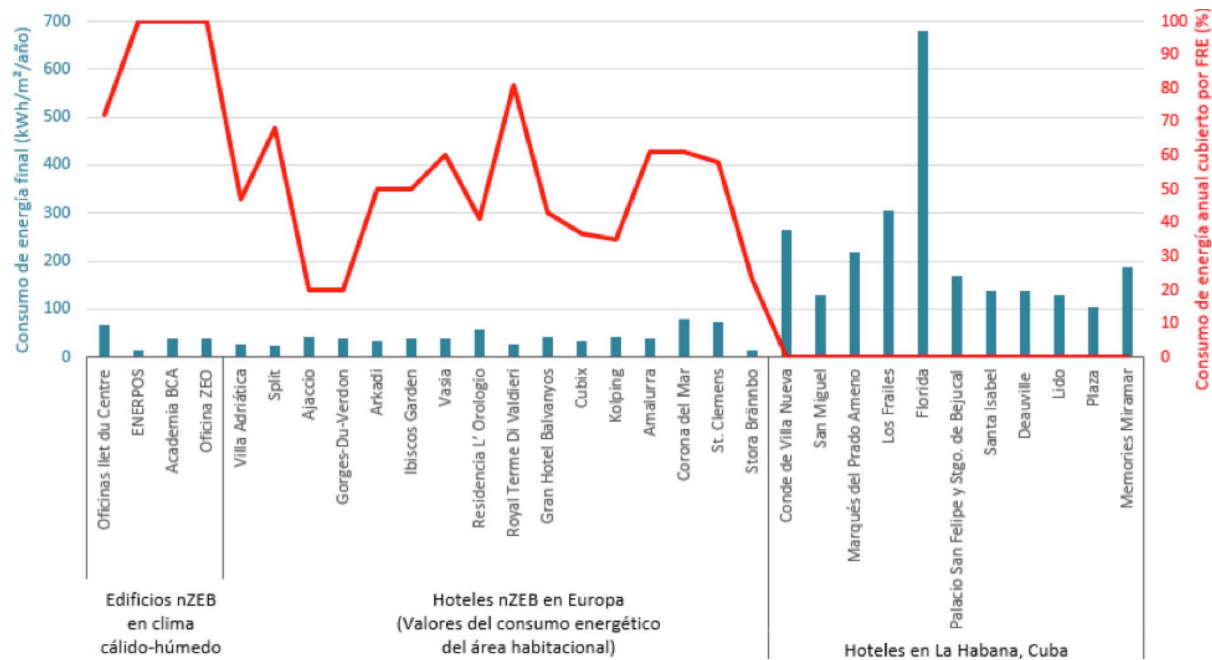


Figura 1. Indicador de consumo de energía final en casos de estudio y generación mediante FRE.

Fuente: (Collado et al., 2018)

Los tres tipos de métodos de cálculo para realizar los balances energéticos, según la ISO 13790, son “El Método Mensual de Estado Casi Estable” (utilizado en Bélgica), “El Método Simple de Cálculo Horario” (utilizado en Francia y Finlandia) o “Métodos de Simulación Dinámica” (Santos et al., 2014). Según (Carlier, 2016) las diferencias de estos métodos conlleva a una variación en los resultados debido a la cantidad de suposiciones en los valores que definen, la metodología del balance, así como los elementos considerados de la solución volumétrica-espacial² dentro del cálculo del balance energético. Actualmente en Cuba no existe una metodología de cálculo integral que establezca el consumo energético de las edificaciones.

La selección de los elementos a considerar dentro del balance energético es otro de los requerimientos que difieren en la UE. De acuerdo con (BPIE, 2015) los países deben considerar el consumo en calefacción, climatización, agua caliente y ventilación para los edificios residenciales, así como la iluminación en edificios con otras funciones como las oficinas. Sin embargo, en varias definiciones nacionales se asume también el consumo de los sistemas auxiliares, así como se tiene en cuenta además los electrodomésticos en países como Austria, Estonia y Finlandia. Otros aspectos menos contemplados son la movilidad eléctrica y el sistema de tratamiento de agua (Sartori et al., 2012). Por ejemplo, en la definición nZEB de Estonia, a un edificio residencial se le

permite un máximo de energía primaria entre 50 y 100 kWh/m² (incluyendo electrodomésticos) mientras que en Rumania el rango admitido se encuentra entre 93 y 217 kWh/m² (sin considerar los electrodomésticos) (BPIE, 2015). Esto es uno de los factores influyentes en que existan enfoques internacionales que aspiran a edificios de energía neta cero, y a los edificios con energía excedente.

Si bien este rango admisible está dado en la mayoría de los países a partir de la energía primaria como métrica del balance³ y las emisiones de CO₂, la primera por considerar además del consumo, las pérdidas por transmisión, conversión y generación (Hermelink et al., 2013), y el segundo caso por darle mayor peso en las evaluaciones a la reducción de las emisiones de gases invernadero⁴. Otras métricas para realizar los balances energéticos existentes son la energía final, los costos energéticos y los créditos ambientales. Estas dos últimas opciones, si bien incentivan las inversiones en fuentes renovables de energía, no estimulan cambios importantes en la concepción de las edificaciones. En Cuba la mayoría de los análisis energéticos se realizan a partir del consumo final y solo se brindan datos de los valores de energía primaria a escala nacional (ONEI, 2008).

Para poder utilizar una métrica en el balance es necesario contar con factores de conversión de los portadores

² Algunos países europeos incluyen dentro del cálculo del balance energético parámetros de la solución volumétrica espacial como el área de la superficie de la envolvente arquitectónica, el área que necesita calefacción, el volumen del espacio y la superficie que tiene acceso a la luz natural (Carlier, 2016).

³ Se considera la métrica del balance energético a la unidad de medida por el cual el consumo es medido.

⁴ Incluir solo las emisiones de CO₂ como indicador pudiera promover el uso de la energía nuclear (Payne et al., 2010), alternativa muy criticada por los potenciales riesgos de accidentes y por los desechos radiactivos que generan (McCombie y Jefferson, 2016).



energéticos definidos a nivel nacional, o incluso regional, a partir de las condiciones reales de cada contexto⁵. Estos factores pueden ser utilizados de igual forma para promover o controlar el empleo de determinada fuente energética, tal es el caso de la regulación suiza que le asigna un valor de conversión muy alto a la biomasa para evitar un uso extendido de este recurso (Sartori et al., 2012) e impedir impactos negativos como daños a la biodiversidad, la producción de alimentos, y la tala indiscriminada de los bosques (McCombie y Jefferson, 2016). En Cuba los factores establecidos convierten el consumo de algunos portadores energéticos en toneladas de petróleo equivalentes (ONEI, 2008). Estos no consideran todos los portadores energéticos (como algunas FRE), pero además no son suficientemente actualizados o tienen muy poca accesibilidad y difusión.

El rango de energía que determina cada país está normalizado para una determinada área (kWh/m²/año) sin embargo, también varía el tipo de superficie que asume cada metodología. Dentro de las opciones que se han utilizado se encuentran el área de uso, el área neta y el área tratada (con calefacción o climatización). Otras metodologías también asumen como unidad de medida los edificios y la cantidad de personas (Hermelink et al., 2013). También se deben normalizar las condiciones climáticas que se consideran en la evaluación energética de los edificios, la cual consiste en definir un "año típico" para cada región/ciudad a partir del comportamiento estándar horario de varios años (Won et al., 2016).

En Cuba son pocos los programas arquitectónicos que cuentan con indicadores de eficiencia energética. Las principales cadenas hoteleras han definido indicadores de consumo energético para sus instalaciones en correspondencia con las Habitaciones Días Ocupadas (kWh/HDO), no obstante este tipo de indicador ya ha sido criticado, debido a que no refleja la influencia de los consumos energéticos de los servicios, no tiene en cuenta las variaciones de volumen y área entre las habitaciones, ni considera la influencia de la temperatura exterior (Cabrera et al., 2006).

Más allá de que la mayoría de las regulaciones busquen hacer cumplir un alto comportamiento energético a partir de indicadores de forma cuantitativa, se debe llegar a requerimientos variados considerando, por ejemplo, las distintas tipologías de los edificios y programas arquitectónicos. Es recomendado, inclusive para edificaciones con distintos subsistemas de servicios como los hoteles, definir indicadores específicos para cada uno, puesto que permiten evaluar con mayor precisión las soluciones de eficiencia energética (Tsoutsos et al., 2013).

Debería ser importante además considerar el impacto del contexto urbano en el comportamiento energético, pues se podría presentar como conflicto que altos requerimientos de generación mediante FRE en los edificios, pueda conllevar a concebir perfiles regulares a escala de manzana para evitar la sombra arrojada de un volumen sobre otro (al ser los

sistemas solares térmicos y fotovoltaicos uno de los más utilizados).

Si bien la aspiración en Europa es llegar al 2020 con todas sus nuevas construcciones consideradas como nZEB, también se han hecho numerosas investigaciones y tomado medidas para ir transformando las edificaciones existentes. Esto conlleva análisis detallados, no solo de las soluciones técnica y económicamente factibles de implementar, sino también del impacto de estas medidas en los valores presentes en el patrimonio construido que se hereda.

Reto 2: Nunca será suficiente la generación de energía mediante fuentes renovables si previamente el diseño de las edificaciones y los equipamientos no son eficientes energéticamente.

La concepción del diseño de los nZEB debe aprovechar de forma pasiva la energía que se encuentra en la naturaleza (como cuando se garantiza la iluminación y ventilación natural) y evitar consecuencias negativas, como la ganancia térmica por radiación solar. En segundo lugar, estas edificaciones deben usar equipamientos y tecnologías energéticamente eficientes para minimizar el consumo, soluciones asociadas además a sistemas de automatización y control energético de las edificaciones. Solo cuando se alcance un "alto comportamiento energético" (Unión Europea, 2010) es que se debe emplear fuentes renovables de energía, con vistas a disminuir aún más el consumo de combustibles fósiles.

La eficiencia energética en el diseño pasivo de los edificios y equipos está internacionalmente regulada en diferentes normativas que definen los parámetros y requerimientos mínimos que deben contar. La mayoría de estas regulaciones han sido actualizadas durante la última década con el fin de incorporar requisitos más estrictos para alcanzar la meta de nZEB. En varias normativas se establecen, además, distintas escalas de desempeño a partir de etiquetas energéticas (tal cual es común en la clasificación de electrodomésticos) como en Noruega, Bulgaria, Italia, Lituania, España y Francia. Este tipo de clasificación energética para los espacios construidos se considera una buena práctica, puesto que incentiva alcanzar muy altos estándares, pero al mismo tiempo establece los rangos mínimos para cumplir los requerimientos nZEB.

Como parte de 22 definiciones nacionales nZEB en Europa se declaran indicadores del comportamiento de la envolvente EPBD, 2015 (European Commission, 2015). Estos generalmente están asociados al Coeficiente Global de Transferencia de Calor de los paramentos, fenestraciones y cubiertas. De igual forma, seis de estas definiciones nZEB establecen indicadores para evaluar el comportamiento de los sistemas tecnológicos de los edificios EPBD, 2015 (European Commission, 2015).

En Cuba la norma fundamental que establece los requisitos de diseño para la eficiencia energética es la NC: 220 2009 (Oficina Nacional de Normalización, Cuba, 2009), además de las que garantizan un clima interior adecuado⁶. Actualmente se están evaluando normas internacionales del

⁵ Por ejemplo, en países de Europa donde tienen centrales nucleares el factor para convertir el consumo de energía eléctrica a emisiones de CO₂ es menor que en aquellos que no cuentan con este sistema de generación. En estos factores también es contemplado el estado técnico de la infraestructura eléctrica para convertir de energía final a primaria.

⁶ NC: 198 (2004). Edificaciones. Código de buena práctica para el diseño del clima interior térmico y visual; NC: 166 (2002) Edificaciones. Principios generales para el diseño ambiental de los espacios interiores de los edificios; NC: 1005 (2014) Edificaciones. Requisitos para el cálculo de la iluminación natural.

sistema ISO para su posible adopción. No obstante, el principal problema a enfrentar es cambiar la tendencia predominante en algunos niveles de decisión, fundamentalmente en el sector de la construcción para viviendas: de prestar mucha atención a los costos iniciales de la ejecución y poca al consumo de energía durante el ciclo de vida de las edificaciones (González, 2009). En aquellas

construcciones, en las cuales los procesos inversionistas cuentan con mayor presupuesto, el mayor peligro es importar proyectos foráneos, así como la copia de diseños estereotipados relacionados con el "gran desarrollo", asociados en su mayoría a fachadas completas de vidrio, con casi nula protección solar y muy poco aprovechamiento de la ventilación natural. Ver (Figura 2).



Figura 2. Fachada SO del Hotel Panorama, Miramar (izquierda) y propuesta de fachada SE de un futuro hotel en la céntrica región de La Rampa (derecha). Fuente: (Tripadvisor, 2019).; (Granma, 2018)

Reto 3: La generación de energía debe contar con soluciones a nivel nacional, regional y local.

La concepción inicial de los nZEB consideraba la escala de la problemática energética únicamente para los edificios, como entes individuales dentro de los contextos urbanizados o rurales. Hoy las investigaciones proponen entornos edificados mayores como los espacios públicos, las manzanas urbanas, los sectores o inclusive las comunidades o ciudades (Strasser et al., 2017), debido a las ventajas que ofrece el trabajo en sistema para la explotación de las FRE, las posibilidades tecnológicas que brinda una mayor área de estudio, y el manejo de las potencialidades y restricciones del contexto con respecto al sol y el viento (Himpe y Janssens, 2014). Esto es una recomendación que pudiera ser compleja para cualquier país desde el punto de vista de administración e inversión, debido a los diversos actores que inciden en escalas mayores. No obstante, existen ya ejemplos que aplican esta concepción de análisis regional como el asentamiento neutral de carbón BedZed en Londres (GB); la comunidad autosuficiente energéticamente Gussing (Austria); el vecindario de carbono neutral Venning (Bélgica) y las Isla autosuficiente de energía Samsø (Dinamarca).

El concepto de nZEB requiere una precisión del espacio físico (Unión Europea, 2010) donde se generará energía a partir de fuentes renovables (Sartori et al., 2012). Investigaciones previas han apuntado que las FRE pueden estar en la construcción (como paneles fotovoltaicos en techos), fuera de ella (energía que se administra a partir de aerogeneradores insertados en la región) o combinaciones (como al usar calderas de biomasa ubicadas en el edificio, cuya materia prima proviene de otro territorio) (Marszal et al., 2011). Cada país define su propio indicador y cantidad de cobertura generada mediante FRE en los edificios, y cuánta energía es preferible proveer mediante la red nacional, inclusive a partir de fuentes renovables que se puedan explotar a escala de país. Actualmente existen diversos parámetros que regulan el uso mínimo e incluso algunos países como Francia o la región flamenca de Bélgica, flexibilizan su cumplimiento (Groezinger et al., 2014) ver (Tabla 1). En Cuba se pretende cubrir el 24% del consumo de energía mediante FRE para el 2030 a partir de diversas inversiones y planes de desarrollo. No obstante, todavía no hay indicadores para definir la generación en las producciones locales e individuales de energía.

Tabla 1. Principales formas de regular el uso de FRE en las definiciones nZEB en Europa (Groezinger et al., 2014)

Variables	Ejemplo de Región / País	Ejemplo de indicadores asumidos
Generación según el área del edificio y el tipo de FRE	Región Flamenca (Bélgica)	La cantidad varía según el tipo de FRE. Para los edificios residenciales tiene que ser $\geq 10 \text{ kWh/m}^2$ de área útil/año.
	Irlanda	10 kWh/m ² /año (Agua caliente y calefacción) y 4 kWh/m ² /año (Electricidad)
Fórmulas a partir de distintos escenarios	Rumania	En el Plan Nacional aparece la fórmula y los distintos parámetros a considerar como la forma y altura de los edificios.
	Lituania	
Porcentaje de cobertura	Bulgaria	15 %
	Chipre	25% (energía primaria)
	Dinamarca	Entre 51 y 56% (para el 2020)
	Alemania	Varía según el tipo de FRE (entre un 15 y un 50%)
	Hungría	25%
	Italia	50% (del uso de la calefacción, climatización y agua caliente)
	Eslovaquia	50%
Eslovenia	25% (de la energía final usada)	
Consumo permitido de energía convencional bajo.	Región Capital de Bruselas (Bélgica)	El requerimiento de empleo de las FRE no aparece recogido dentro de las definiciones nZEB, pero su uso está implícitamente requerido al admitir muy bajos rangos de consumo de energía convencional.
	Dinamarca	
	Países Bajos	

Se debería considerar el territorio anexo a las edificaciones, no únicamente como una opción potencial de utilizar FRE, sino también para evaluar los consumos que generalmente se producen en contextos mayores como la transportación, la iluminación de las vías, entre otros equipamientos y servicios urbanos (Hachem et al., 2012). Si bien algunas metodologías existentes para clasificar los nZEB pueden ser apropiadas para un grupo de edificios (Carlisle et al., 2009), también deberían ser necesarias investigaciones más detalladas que especifiquen los requerimientos particulares para asumir comunidades o ciudades de consumo energético casi nulo. Una mayor escala de estudio, conllevaría analizar de forma distinta las diferencias entre los contextos urbanos y rurales, las distintas densidades, así como la variedad de morfologías urbanas, al igual que a escala arquitectónica se especifican de forma independiente los requerimientos, por ejemplo, para edificios residenciales y de oficina.

Los nZEB, como concepto, no implica almacenar localmente la energía que ha sido criticado por sus altos costos, el impacto ambiental y el incremento de la energía embebida en la edificación (Torcellini et al., 2006). El equilibrio energético se basa por lo general en el balance entre el consumo de energía que se toma de la red eléctrica y la cantidad que se le inyecta a partir de la generación local. Utilizar la infraestructura existente también implica que la red nacional debe adaptarse a las nuevas circunstancias como red inteligente además de contar con nuevas regulaciones que definan esta interacción con distintos productores y consumidores. Según la Oficina Nacional de Estadísticas e Información de Cuba (ONEI, 2016), el 99,5% de los asentamientos en el país están conectados a la red eléctrica, por lo que no resulta necesario, ni económicamente eficiente,

hacer edificios autosuficientes. Aunque existen en la actualidad comunidades rurales que se abastecen mediante sistemas autónomos de pequeña y mediana potencia (Camejo y Ramos, 2011), emplear hoy las FRE por entes e instituciones individuales no es una solución extendida. No obstante, el actual Decreto-Ley 345, permitirá que personas naturales y jurídicas instalen tecnología para generar mediante FRE, lo cual podría favorecer el desarrollo futuro de nZEB.

La importancia del almacenamiento de energía ante catástrofes quedó demostrada en Japón, donde ocurrió un terremoto y tsunami en el 2011 (Kosai y Tan, 2017). Por lo cual, para el caso de Cuba, es también deseable poder almacenar energía por razones de seguridad y estabilidad debido a que eventos meteorológicos extremos han dejado en el país serias afectaciones a la red energética nacional durante incluso meses. El almacenamiento de energía también resulta de alta importancia para disminuir el “Pico Eléctrico”⁷ que se pudiera incrementar con el empleo de sistemas fotovoltaicos entre el periodo de su generación (que ocurre durante el día) y los momentos con mayores consumos, que ocurren entre la 5:00 pm y las 9:00 pm. El almacenamiento de energía, si se concibe a escala de comunidad, pudiera tener un menor impacto ambiental y resultar más económico.

Reto 4: Las soluciones para mejorar la eficiencia energética no pueden afectar el confort de los espacios.

Un factor clave en la concepción los nZEB es que deben consumir mucho menos energía que las edificaciones

⁷ Período del día con mayores valores de consumo electro-energético.

SPANISH VERSION.

convencionales garantizando calidad y confort. Los espacios interiores deben cumplir los requerimientos que intervienen en el confort térmico, visual y acústico, la protección contra la radiación electromagnética y la calidad de aire (Enescu, 2017).

A raíz de la discusión de la directiva nZEB en Europa se ha demostrado que un excesivo aislamiento de la envolvente para disminuir los consumos energéticos en el invierno puede generar edificios que se sobrecalienten en el verano, y sobre todo en los últimos años a raíz del cambio climático (McLeod et al., 2013). Esto si bien no representa un impacto energético importante, sí conlleva a inadecuados estándares de confort para las personas en el período estival. Por tanto, países como Francia, Dinamarca y dos regiones de Bélgica han incorporado indicadores de sobrecalentamiento como requisito nZEB.

Inadecuados niveles de calidad de aire, debido a la hermeticidad requerida para ser eficientes energéticamente, ha sido ampliamente discutido dentro de las causas del conocido “síndrome del edificio enfermo” (Awbi, 2016). También incorrectos niveles de iluminación natural en los espacios interiores debido a una disminución notable en el área de ventanas ha sido otro de los problemas detectados en los nuevos diseños de nZEB (Janssens, 2018). Los requerimientos en las normativas de iluminación natural y calidad del aire en la mayoría de los países europeos se han debido actualizar a la par de la de eficiencia energética.

Una tendencia también criticada ha sido la de generar “edificios activos y ocupantes pasivos” al promover complejos sistemas de automatización para ser eficientes sin que interfieran o tomen decisiones las personas (Garde et al., 2014). Esto limita el “confort adaptativo” que alcanza el ser humano al modificar y adaptarse al ambiente a partir de, por ejemplo, abrir o cerrar ventanas, cambiarse de vestimenta, modificar la actividad física que se realiza o inclusive tomar una bebida fría o caliente según el estado térmico que se sienta (Enescu, 2017). Esto remarca la importancia de establecer enfoques integrales en el que se busque un equilibrio entre requerimientos que pudieran ser contradictorios entre sí.

Tomar decisiones que disminuyan los consumos energéticos sin afectar el confort es una tarea bien compleja, partiendo del hecho que establecer lo que se considere como confortable depende tanto de parámetros ambientales (humedad, temperatura, nivel de luz), las características fisiológicas (ritmo metabólico, edad, salud) de las personas, y hasta de las costumbres propias de la sociedad (normativas de vestir, compromiso ambiental, expectativas de confort) (Enescu, 2017); (Yang et al., 2014); (Djamila, 2017). La aspiración debe ser lograr disminuir el consumo energético sin afectar al usuario, y que el cambio de los hábitos respecto al uso de la energía sean producto de una conciencia más elevada, y no únicamente consecuencia de una necesidad impuesta.

Reto 5: Tener éxito en la implementación de una directiva nZEB no depende únicamente de normativas sobre eficiencia energética y fuentes renovables de energía

La definición de directivas nacionales y regionales, así como su implementación en cada país del bloque europeo ha nacido a partir de fomentar el desarrollo científico y tecnológico en la rama energética y el comportamiento

ambiental de las edificaciones. En el ámbito de los nZEB la UE ha fomentado estudios conjuntos con las universidades y centros especializados para determinar la factibilidad y aplicación de las nuevas regulaciones, a la par que las empresas privadas han incrementado las inversiones en investigación con vistas a ser competitivas ante los nuevos requerimientos. La directiva de eficiencia energética de las edificaciones continúa en evaluación con vistas a alcanzar mejores resultados para el 2030 (Unión Europea, 2016).

Por otra parte, las directivas nZEB han estado acompañadas de un mecanismo de control y evaluación para verificar el cumplimiento de los requisitos de las normativas, tanto en la etapa de diseño, como después de ser construidos. Esto ha sido posible por contar con centros de investigación, universidades y laboratorios especializados para realizar simulaciones y mediciones que verifiquen el cumplimiento de las soluciones de eficiencia energética. Evidentemente, esto está acompañado también de un mecanismo legal para penalizar aquellas personas o entidades que no cumplieran con lo establecido.

La ambición de lograr nZEB cambiará la manera de diseñar y construir fundamentalmente debido a la necesidad de una mayor integración entre los equipamientos, la tecnología de los edificios y el diseño de sus espacios (Attia, 2012); (Tsoutsos et al., 2013). Las metodologías de diseño irán cada vez más dirigidas al diseño basado en el desempeño (Soares et al., 2017), en el cual el empleo de programas de simulación jugará un rol trascendental para evaluar su impacto, y los profesionales de la arquitectura deberán estar más preparados en temáticas afines a las ingenierías, la física y la modelación, para lograr una apropiada comunicación en los trabajos interdisciplinarios.

Por otro lado, la aspiración de ser más independiente y eficiente energéticamente debe provocar cambios en los mecanismos financieros que permitan asumir los altos costos iniciales a partir de subvenciones, reducciones de impuestos y préstamos, entre otros instrumentos (Aelenei et al., 2015).

4. Conclusiones

Comenzar las discusiones para definiciones nacionales sobre “edificios de consumo energético casi nulo” permitiría integrar en un mismo enfoque las distintas acciones que se consideran para disminuir los consumos energéticos de las edificaciones.

Las diferencias entre todos los factores que determinan en los balances energéticos permiten reafirmar la diversidad de opciones y peculiaridad de cada definición nZEB en Europa. Esto confirma que no son factibles comparaciones numéricas entre distintas soluciones sin entender en profundidad la particularidad de la metodología de balance que se utiliza. Las experiencias europeas también permiten afirmar que la definición de cuánto es la magnitud del consumo energético casi nulo, parte por valoraciones socio-económicas a nivel nacional. Estas tienen que manejar las posibilidades técnicas y las condiciones ambientales de cada región o país para imponer estándares preestablecidos.

Nunca será suficiente la generación de energía mediante fuentes renovables si previamente el diseño de las edificaciones y los equipamientos en que ellas se encuentran



no son eficientes energéticamente, para lo cual se necesitan normativas relacionadas que establezcan los requerimientos mínimos de los inmuebles y que garanticen el confort humano.

Las regulaciones para limitar el consumo energético de las edificaciones deben determinar el rango de consumo y generación, el método de cálculo, los elementos a considerar en el balance energético, la métrica el balance, los factores de conversión y la normalización de los consumos.

No se pueden aspirar a soluciones estandarizadas ni a comportamientos energéticos similares, pues las normativas deben ser flexibles para contemplar las diferencias dadas por la variedad de tipologías y programas arquitectónicos, la diversidad de contextos urbanos, así como las restricciones propias que conlleva modificar las edificaciones existentes.

La generación de energía debe contar con soluciones a nivel nacional, regional y local para contar con opciones diversificadas de FRE, aprovechar una infraestructura nacional mejor preparada para esta interacción consumo-generación y poder realizar análisis integrales a distintas escalas.

Tener éxito en la aspiración de nZEB no es dependiente únicamente de normativas de diseño sobre eficiencia energética y fuentes renovables de energía. Es necesario además contar con inversiones en las investigaciones, mecanismos de control y evaluación de las soluciones; con facilidades financieras para las inversiones de eficiencia energética, así como cambiar los métodos y forma de enseñar y diseñar las edificaciones.

5. Referencias

- Aelenei, L.; Petran, H.; Tarrés, J.; Riva, G.; Ferreira, A.; Camelo, S.; Corrado, V.; et al. (2015)**, New Challenge of the Public Buildings: nZEB Findings from IEE RePublic_ZEB Project. *Energy Procedia*, 78: 2016-2021. <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.195>
- Attia Shady (2012)**, A Tool for Design Decision Making Zero Energy Residential Buildings in Hot Humid Climates. (Tesis de Doctorado) LovainaAA: Universidad católica de Lovaina. <http://www.i6doc.com>.
- Awbi Hazim, B. (2016)**, 26-28 de octubre. Ventilation for Good Indoor Air Quality and Energy Efficiency». En: *Sustainable Solutions for Energy and Environment* (pp. 277-286). Bucarest: Energy Procedia. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.1098>
- BPIE (2015)**, Nearly Zero Energy Buildings Definitions across Europe. http://bpie.eu/uploads/lib/document/attachment/128/BPIE_factsheet_nZEB_definitions_across_Europe.pdf
- Cabrera Gorrín, O.; Borroto Nordelo, A.; Monteagudo Yanes, J.; Pérez Tello, C.; Campbell Ramírez, H. (2006)**, Indicadores de eficiencia energética en hoteles turísticos en Cuba. *Ecosolar*. <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Ecosolar/Ecosolar06/HTML/articulo05.htm>.
- Camejo Cuán, J.; Ramos Heredia, R.; (2011)**, Doce años solares. Energía y Tú, <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia55/HTML/Articulo09.html>
- Carlier, M. (2016)**, Nearly zero-energy building definitions in selected countries (Tesis de Maestría) Gante: Universidad de Gante: https://lib.ugent.be/fulltxt/RUG01/002/301/108/RUG01-002301108_2016_0001_AC.pdf
- Carlisle, N.; Van Geet, O.; Pless, Sh. (2009)**, Definition of a "Zero Net Energy" Community. NREL/TP-7A2-46065. Colorado, National Renewable Energy Laboratory. <http://www.osti.gov/bridge>.
- Collado, N.; Rueda Guzmán, L.A.; González Couret, D. (2018)**, 26-30 de noviembre. Hoteles de consumo energético casi nulo. Potencialidades y restricciones para Cuba. En: *Medio Ambiente Construido y Desarrollo Sustentable* (pp. 922-932). La Habana, Cuba.
- D'Agostino, D. (2015)**, Assessment of the Progress towards the Establishment of Definitions of Nearly Zero Energy Buildings (NZEBS) in European Member States. *Journal of Building Engineering* 1:20-32. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2015.01.002>.
- Djamila Harimi (2017)**, Indoor Thermal Comfort Predictions: Selected Issues and Trends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 74: 569-580. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.02.076>.
- Enescu, D. (2017)**, A Review of Thermal Comfort Models and Indicators for Indoor Environments. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 79: 1353-1379. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.175>.
- European Commission (2015)**, Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) Compliance Study. Specific Contract No. MOVE/ENER/SRD.1/2012-409-Lot3/ENER/C3/2014-542/S12.701648. Brussels : European Commission.
- Garde, F.; Lenoir, A.; Scognamiglio, A.; Aelenei, D.; Waldren, D.; Ayoub, J.; Rostvike, H.N.; et al. (2014)**, Design of Net Zero Energy Buildings: Feedback from international projects. En 6th International Conference on Applied Energy (pp. 995-998) *Energy Procedia*, <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.11.1011>.
- González Couret, D. (2009)**, Medio Siglo de Vivienda Social en Cuba. *Revista INVI* 24 (69-92). <https://doi.org/10.4067/S0718-835820090003000003>.
- Granma (2018)**, «Hotel más alto de La Habana estará en El Vedado». *Granma*. 26 de abril <http://www.granma.cu/cuba/2018-04-26/hotel-mas-alto-de-la-habana-estara-en-el-vedado-26-04-2018-14-04-48>.
- Groezinger, J.; Boermans, T.; Ashok, J.; Seehusen J.; Wehringer, F.; Scherberich, M. (2014)**, Overview of Member States information on NZEBs Working version of the progress report - final report. ECOFYS. <https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/Updated%20progress%20report%20NZEB.pdf>
- Hachem, C.; Athienitis, A.; Fazio, P. (2012)**, Evaluation of energy supply and demand in solar neighborhood. *Energy and Buildings* 49 (335-347). <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.02.021>
- Hermelink, A.; Schimschar, S.; Boermans, T.; Pagliano, L.; Zangheri, P.; Armani, R.; Voss, K.; Musall, E. (2013)**, Towards nearly zero energy buildings. Definition of common principles under the EPBD. Final report. https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/nzeb_full_report.pdf
- Himpe, E.; Janssens, A. (2014)**, Eco - Life _Sustainable zero carbon eco-town developments improving quality of life across EU. Zero-Energy Guideline for Building Social Housing. Ghent University. http://www.ecolife-project.eu/PDF/Final_Rep/Final_Publishable_Summary_Report.pdf
- Janssens, A. (2018)**, 26-30, Sustainable architecture in Belgium, Europe: beyond Nearly Zero-Energy Buildings. En *Medio Ambiente Construido y Desarrollo Sustentable*. La Habana, Cuba.



- Kosai, Sh.; Tan, ChiaKwang (2017)**, Quantitative analysis on a zero energy building performance from energy trilemma perspective. *Sustainable Cities and Society* 32 (130-141). <http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2017.03.023>.
- Marszal, A.J.; Heiselberg, P.; Bourrelle, J.S.; Musall, E.; Voss, K.; Sartori, I.; Napolitano, A. (2011)**, Zero Energy Building – A review of definitions and calculation methodologies. *Energy and Buildings* 43: 971-979. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.12.022>
- McCombie, Ch.; Jefferson, Michael (2016)**, Renewable and Nuclear Electricity: Comparison of Environmental Impacts. *Energy Policy* 96: 758 - 769. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.03.022>
- McLeod, R.S.; Hopfe C.J.; Kwan, A. (2013)**, An Investigation into Future Performance and Overheating Risks in Passivhaus Dwellings. *Building and Environment* 70: 189 - 209. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.08.024>.
- Oficina Nacional de Normalización. Cuba (2009)**. NC 220-2009: Edificaciones. Requisitos de diseño para la eficiencia energética. La Habana : ONN.
- ONEI (2008)**, Estadísticas energéticas en la Revolución. <http://www.one.cu/publicaciones/50aniversario/estadisticas%20energeticas/%C3%8Dndice.pdf>
- ONEI (2016)**, Anuario estadístico de Cuba 2015. Minería y Energía. <http://www.one.cu/aec2015/10%20Mineria%20y%20energia.pdf>.
- Payne, J.E.; Apergis, N.; Menyah, K.; Wolde-Rufael, Y. (2010)**, On the Causal Dynamics between Emissions, Nuclear Energy, Renewable Energy, and Economic Growth. *Ecological Economics* 69: 2255-60. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.06.014>.
- Santos, P.; Martins, R.; Gervásio, H.; Simões da Silva, L. (2014)**, Assessment of Building Operational Energy at Early Stages of Design – A Monthly Quasi-Steady-State Approach. *Energy and Buildings* 79:58-73. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.02.084>.
- Sartori, I.; Napolitano, A.; Voss, K. (2012)**, Net zero energy buildings: A consistent definition framework. *Energy and Buildings* 48: (220–232). <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.01.032>.
- Soares, N.; Bastos, J.; Dias Pereira, L.; Soares, A.; Amaral, A.R.; Asadi, E.; Rodrigues, E.; et al. (2017)**, A Review on Current Advances in the Energy and Environmental Performance of Buildings towards a More Sustainable Built Environment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 77:845-860. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.04.027>.
- Strasser, H.; Kimman, J.; Koch, A.; Mair am Tinkhof, O.; Muller, D.; Schiefelbein, J.; Slotterback, C. (2017)**, IEA EBC Annex 63–Implementation of Energy Strategies in Communities. *Energy and Buildings*, 33. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.08.051>.
- Tripadvisor (2019)**, H10 Habana Panorama. Consulta marzo 2019. https://www.tripadvisor.com.ph/Hotel_Review-g147271-d249800-Reviews-H10_Habana_Panorama-Havana_Ciudad_de_la_Habana_Province_Cuba.html
- Torcellini, P.; Pless, S.; Deru, M.; (2006, 14-18 de Agosto)**, Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition. En: ACEEE Summer Study. California: National Renewable Energy Laboratory, <https://www.nrel.gov/docs/fy06osti/39833.pdf>
- Tsoutsos, T.; Tournaki S.; Avellaner de Santos, C.; Vercellotti, R. (2013)**, Nearly Zero Energy Buildings Application in Mediterranean hotels. *Energy Procedia*, 42: (pp. 230-238). <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2013.11.023>.
- Unión Europea (2010)**, Directiva 2010/31/EU del Parlamento Europeo y del Consejo, 19 de mayo. Relativa a la eficiencia energética de los edificios (refundición) <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/>.
- Unión Europea (2016)**, Recomendaciones (UE) 2016/1318 de la Comisión de 29 de julio (2016), sobre las directrices para promover los edificios de consumo de energía casi nulo y las mejores prácticas para garantizar que antes de que finalice 2020 todos los edificios nuevos sean edificios de consumo de energía casi nulo, Unión Europea. <https://www.boe.es/doue/2016/208/L00046-00057.pdf>
- Won, S.J.; Wang, X.H.; Warren, H.E. (2016)**, Climate Normals and Weather Normalization for Utility Regulation. *Energy Economics* 54: 405 - 416. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2015.12.016>.
- Yang, L.; Yan, H.; Lam, J.C. (2014)**, Thermal Comfort and Building Energy Consumption Implications – A Review. *Applied Energy* 115: 164 - 173. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.10.062>.

