

EXPERIENCIAS EN LA UTILIZACIÓN DE INFORMACIÓN METEOROLÓGICA PARA EL PRONÓSTICO Y CONTROL DEL CONSUMO DE ELECTRICIDAD EN HOTELES

Mario A. ÁLVAREZ GUERRA PLASENCIA¹, Juan J. CABELLO ERAS¹, Vladimir SOUSA SANTOS¹, Alexis SAGASTUME GUTIÉRREZ¹, Dries HAESELDONCKX², Carlo VANDECASTEELE²

¹ *Centro de Estudios de Energía y Medioambiente (CEEMA), Universidad de Cienfuegos, Cuba.*

² *Universidad Católica de Leuven, Bélgica.*

marioposdocbrasil@gmail.com

RESUMEN

Los hoteles se encuentran entre las instalaciones turísticas de mayor consumo de energía. Para supervisar y controlar el consumo mensual y anual de energía en los hoteles se han propuesto diferentes indicadores. Estos indicadores, desarrollados en base anual, no permiten la rápida detección y mitigación de las malas prácticas y sobreconsumos en las instalaciones del hotel. Este estudio analiza el uso de indicadores de desempeño energético para evaluar y controlar el consumo de electricidad en los hoteles. Para este fin se introduce un nuevo indicador teniendo en cuenta la temperatura exterior. Sobre la base de este indicador se desarrollan las gráficas de control diarios, lo que permite una detección más rápida de sobreconsumos y malas prácticas hacia una mayor eficiencia de la electricidad. Una ventaja de este enfoque es que no se requieren inversiones para ponerlo en práctica. Las herramientas se aplicaron en dos hoteles cubanos de diferentes características, donde se alcanzaron importantes reducciones del consumo de electricidad.

Palabras clave: días grado, gestión energética, eficiencia energética hoteles

ABSTRACT

Hotels are among the most energy intensive tourism facilities. To monitor and control the monthly and yearly energy consumption in hotels, different indicators have been proposed. These indicators do not consider the influence of physical parameters such as outdoor temperature, or, when they do, rather complex coefficients are used, precluding implementation in hotel facilities. This study discusses the use of Energy Performance Indicators to assess and control the electricity consumption in hotels. To this end a new indicator considering the outdoor temperature is introduced. Based on this indicator daily control graphs are developed, allowing a more rapid detection of overconsumptions and malpractices towards higher electricity efficiency. The tools were implemented in two Cuban hotels of different characteristics, where significant reductions of the electricity consumption were achieved.

Key words: Degree days, energy management, hotels energy efficiency

1. INTRODUCCIÓN

El sector turístico es uno de los sectores de más rápido crecimiento en la economía mundial con un aumento anual estimado del 3,3% hasta 2030 (UNWTO, 2014; Williams et al, 2016). Es un sector energéticamente intensivo que contribuye con alrededor del 5% a las emisiones de gases de efecto invernadero mundial (Chia-Wei et al, 2014). El consumo de energía en los hoteles varía con la latitud y ubicación geográfica, el clima y el tiempo y depende de las características de las instalaciones y su funcionamiento. Los parámetros que influyen en el consumo de energía se clasifican como:

1. Parámetros físicos: clima, características arquitectónicas y de construcción, edad de la instalación, portadores de energía, sistema de suministro de agua y sistema de aire acondicionado.
2. Parámetros operacionales: prácticas operacionales (lavanderías, piscinas y spas, centros recreativos y de negocios, etc.), servicios ofrecidos, fluctuaciones en la ocupación y variaciones en las preferencias del cliente con respecto al confort interior.

El sector del turismo en Cuba, que comprende edificios de hoteles y otras instalaciones, ha crecido significativamente de 300.000 turistas en el 1990 a más de 4 millones en 2016 (ONEI, 2017). El sector hotelero representa el 8% del consumo de electricidad del país, y aumentó su consumo de 409 GWh en 2009 a 494 GWh en el año 2016. Este estudio tiene como objetivo el desarrollo de un indicador de eficiencia energética, que requiera de poca tecnología para su aplicación, con el fin de evaluar, controlar y gestionar el consumo de electricidad en los hoteles sobre una base diaria, permitiendo la rápida identificación de ineficiencias y de las medidas de ahorro adecuados.

2. MÉTODOS

ISO 50004 y 50006 (ISO, 2012; ISO 2014) proponen una guía para la implementación, mantenimiento y mejora de un sistema de gestión energética (SGE), y para el uso de líneas base de energía e indicadores de desempeño energético como una medida del desempeño energético. Este estudio sigue las directrices de la etapa de planificación energética, incluidos en la implementación de un SGE en la norma ISO 50001 (ISO, 2011), para definir la líneas energéticas base (LBEn) y meta (LMEn) y el indicador de desempeño energético (IDEn).

2.1 Indicadores de desempeño energético en hoteles

Los IDEn son herramientas necesarias para la adecuada gestión energética de las instalaciones. Algunos autores (Priyadarshihi et al., 2009) sugieren utilizar el consumo de energía por unidad de producción, definido como la razón del consumo de la energía con un valor de referencia (turistas- noches vendidas, habitaciones ocupadas por día (HDO), servicios gastronómicos vendidos o número de trabajadores en diferentes unidades de tiempo (días, semanas, meses, años)). En búsqueda de indicadores más convenientes muchos estudios [Hui y Wong, 2010] intentaron correlacionar el consumo de electricidad diario, mensual o anual con los factores

pertinentes (número de habitaciones alquiladas por año, número de trabajadores, número de huéspedes por noche, etc.). Sin embargo, la mayoría de esos estudios muestran poca correlación con los factores pertinentes o los resultados alcanzados no pueden ser reproducidos en otros hoteles. Se considera que indicadores con una correlación $R^2 > 0,6$ son indicadores potenciales, y aquellos con $R^2 > 0,8$ son indicadores potencialmente fuertes (Deng, 2003).

En Cuba, el 91% de los hoteles son propiedad del gobierno y el Ministerio de Turismo (MINTUR) es responsable de su gestión. Para administrar la eficiencia energética sobre una base mensual, el mismo estableció un IDEn basado en las HDO como parámetro de referencia:

$$\eta_{HDO} = \frac{E}{HDO} (kWh/HDO) \quad (1)$$

donde E representa el consumo de electricidad.

Una investigación desarrollada con el objetivo de definir la influencia de las HDO en el consumo de electricidad en 8 hoteles cubanos dio como resultado una baja correlación, sobre todo porque según Cabrera et al. (Cabrera et al., 2004) no tuvieron en cuenta la influencia de la temperatura exterior, las diferencias entre las habitaciones, los servicios proporcionados a los huéspedes y las diferencias entre los servicios y actividades que se ofrecen a turistas. Si bien numerosos estudios demostraron que parámetros como el nivel de ocupación y las condiciones climáticas influyen fuertemente en el consumo de energía, aún la mayoría de los indicadores de eficiencia energética discutidos en la literatura no consideran la temperatura exterior.

2.2 Consumo de electricidad y temperatura exterior

Aunque el clima influye fuertemente en el consumo, en particular el consumo de electricidad, este factor es frecuentemente omitido en la implementación de sistemas de gestión energética. Un parámetro relevante para tener en cuenta la influencia de la temperatura exterior es el Días Grado de Enfriamiento (DGE) (Styles et al., 2013) definido como la suma de las diferencias positivas entre la temperatura del aire exterior (θ_o) y una temperatura de referencia (θ_b) durante un período de tiempo dado generalmente un día:

$$DGE = \sum (\theta_o - \theta_b) \quad (2)$$

La temperatura de referencia es la temperatura máxima exterior a la que no se requiere enfriamiento para mantener la temperatura de confort en un edificio. Este parámetro depende de las características internas y externas del edificio y debe determinarse para cada edificio individual. Existen diferentes enfoques analíticos y estadísticos para determinar la temperatura de referencia, aunque para las instalaciones complejas los métodos estadísticos son los más adecuados. Los principales enfoques estadísticos son el método de rúbrica energética (Energy Signature Method), que requiere datos de alta resolución, y el método de línea de operación (Performance Line Method, PLM), que se considera más práctico (Krese et al., 2012). El método PLM básicamente ajusta la

mejor línea recta a los datos de dispersión de consumo de electricidad mensual versus valores mensuales de DGE. Para determinar el mejor ajuste se utiliza un polinomio de segundo orden para correlacionar los datos, variando θ_b hasta que el término cuadrático sea igual a cero. Para determinar el valor diario y mensual de los DGE con fines de pronóstico, es necesario para construir el año climático (CY) (Yang et al., 2011), que es un período continuo de 12 meses con un ciclo anual completo. Para construir el año climático, un registro de datos de 30 años de las temperaturas diarias es requerido. Este estudio utiliza la base de datos Weather Underground (Weather Underground, 2018) la que se ha utilizado para este fin en estudios previos.

Los estudios para poner en práctica las herramientas desarrolladas se llevaron a cabo en dos hoteles cubanos (denominados A y B) ubicados en la provincia de Cienfuegos. El hotel A es un hotel de playa con 222 habitaciones y el B es un hotel de ciudad con 49 habitaciones. Ambos hoteles ofrecen servicios para no huéspedes como restaurantes, tiendas, bares, sala de juegos, sala de conferencias, discotecas, etc. En ambos casos, el IDEn definido por el MINTUR es utilizado para el control mensual del consumo de energía, y no existen programas de gestión energética implementados. Los hoteles evaluados en este estudio difieren por sus características constructivas, ubicación, sistema de climatización, etc. Estas diferencias permiten poner de relieve la aplicabilidad general de las herramientas propuestas en este estudio. Se utilizaron datos de los años 2011 y 2012 tales como consumo diario y mensual de energía eléctrica, HDO y temperatura exterior promedio, para definir los diferentes parámetros necesarios. La herramienta se validó con datos de 2013 y durante 2014 se logró su implementación (Cabello et al., 2016).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Efectividad del indicador previsto por el MINTUR para la predicción y control del consumo de electricidad

La Figura 1 muestra el comportamiento mensual del consumo de electricidad pronosticado y el real en comparación con las HDO para el año 2012. Aunque el indicador establecido por el MINTUR permite un pronóstico bastante bueno del consumo anual de electricidad, según se observa en la Figura 1 existen fuertes discrepancias sobre base mensual entre el consumo previsto y el real. Estas discrepancias se generan principalmente por las diferencias climáticas entre el verano y el invierno, que no se consideran en los cálculos mensuales del indicador. El consumo mensual pronosticado es inexacto, lo que impide la detección de oportunidades de ahorro de energía.

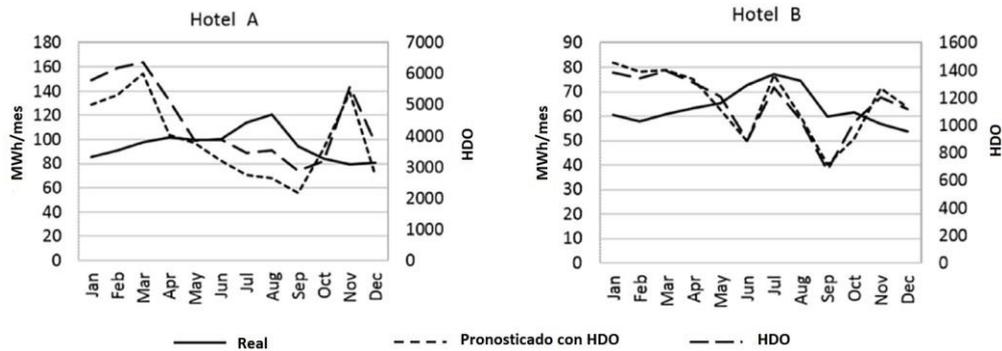


Fig. 1 Consumo eléctrico real, pronosticado y HDO (base mensual 2012). Fuente: Elaboración propia.

3.2 Establecimiento de la línea base y propuesta de indicador efectivo

El IDEN se define utilizando la normalización recomendada por las normas ISO 50001 y 50006 (ISO, 2011; ISO, 2014), que recomiendan la introducción de variables que afectan al consumo de energía y que no están directamente relacionadas con la producción. Una de las variables recomendadas para este fin son los DGE (ISO, 2011; Styles et al., 2013; ISO, 2014). En este estudio, el producto de las habitaciones ocupadas por los días grados de enfriamiento (HDG) se introduce como valor de referencia para calcular el IDEN. De esta forma se considera tanto la ocupación hotelera como la temperatura exterior, ambas sobre base mensual:

$$HDG = HDO * DGE \quad (3)$$

El IDEN propuesto en este estudio es:

$$\eta_{HDG} = \frac{E}{HDG} (kWh/HDG) \quad (4)$$

donde E representa el consumo de electricidad.

La línea base energética (LBEn) fue desarrollada a partir de datos de 2011 y 2012 para los dos hoteles. Los resultados de la Figura 2 muestran una buena correlación ($R^2 > 0.75$) entre E y HDG.

La correlación de la LBEn valida el uso de la HDG como referencia para el IDEN. Del mismo modo, la línea meta de energía (LMEn) muestra una buena correlación ($R^2 > 0.90$) para ambos hoteles. Esta se desarrolla mediante la correlación de los puntos por debajo de la LBEn, que representan los puntos de funcionamiento más eficiente de cada hotel. Para describir el rendimiento de los hoteles, este estudio propone las líneas base y metas diarias. Dado que tanto una como otra varían con el clima, 12 líneas de cada tipo fueron construidas (una para cada mes del año) con datos de 2011 y 2012. Para los gráficos de línea de base en ambos hoteles, como se muestra en la Fig. 3 para el mes de Enero, la correlación es $R^2 > 0,75$ para la LBEn diaria y $R^2 > 0.90$ para la LMEn diaria.

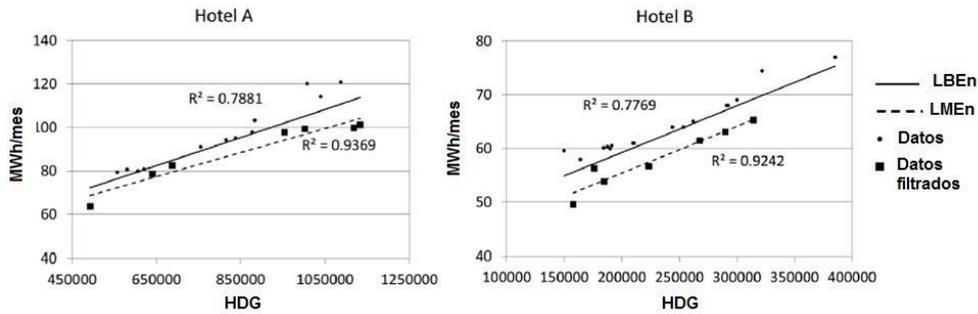


Fig. 2 Líneas base y meta energética (datos 2011 y 2012). Fuente: Elaboración propia.

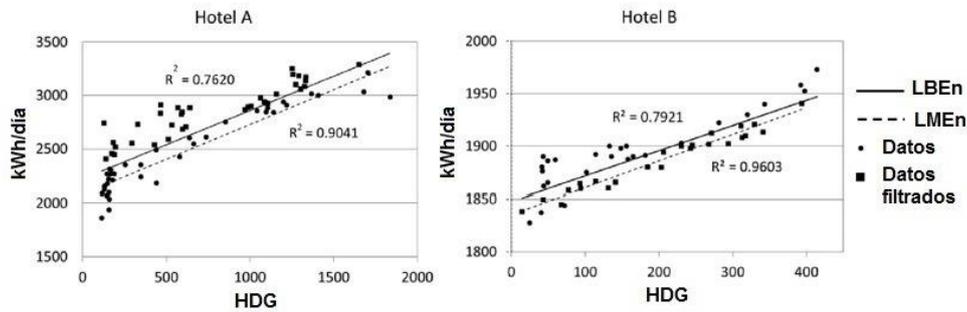


Fig. 3 Líneas base y meta energética (Enero). Fuente: Elaboración propia.

3.3 Gráficos de control

Los gráficos de control describen las variaciones del IDEn propuesto con HDG como se muestra en la Figura 4. Utilizando estos gráficos es posible evaluar la eficiencia energética mensual de un hotel: cualquier punto por encima de la curva es indicativo de una baja eficiencia, lo contrario es cierto si el punto está por debajo, si el punto está cerca de la línea meta el sistema está funcionando a su máxima eficiencia. Los gráficos de control también son útiles para evaluar el efecto de la aplicación de diferentes medidas para mejorar la eficiencia energética.

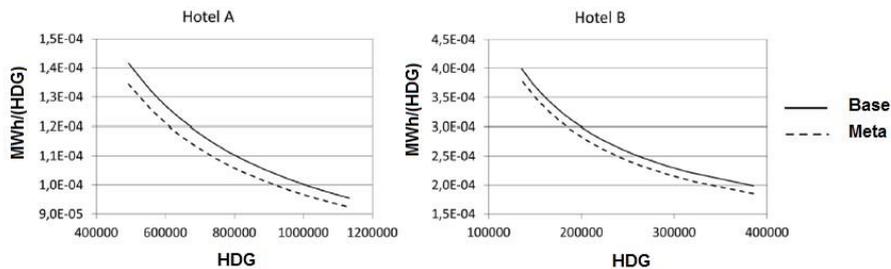


Figura 4. Gráfico de control mensual.

Fig. 4 Gráfico de control mensual. Fuente: Elaboración propia.

Este estudio utiliza un gráfico de control diario (GCD) para permitir una más rápida detección de ineficiencias y aprovechar las oportunidades de ahorro. Hasta donde conocen los autores, el uso de GCD sólo se ha publicado por Cabello et al. (Cabello et al., 2016). De hecho, autores como Styles et al. (Styles et al, 2013) recomiendan un control mensual del consumo de energía, lo que no permite la monitorización continua. A modo de ejemplo en la figura 5 se muestran los gráficos correspondientes al mes de Enero. La importancia del GCD reside en la rápida detección de oportunidades de ahorro. De hecho, con los gráficos de control mensuales ninguna acción inmediata para mejorar la eficiencia puede ser implementada.

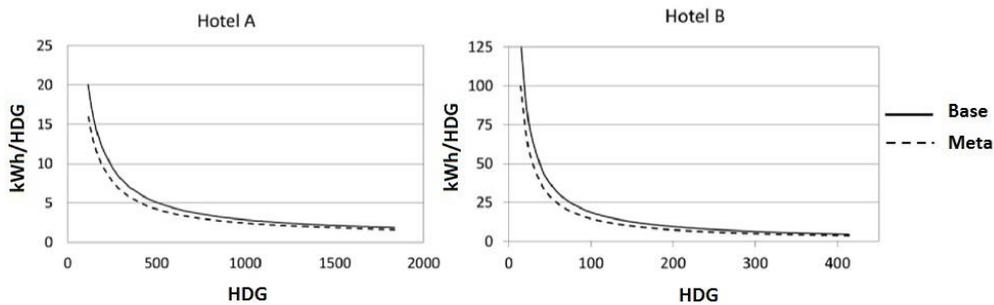


Fig. 5 Gráfico de control diario (Enero). Fuente: Elaboración propia.

Validación de la herramienta para la planificación del consumo de electricidad

Con el fin de validar el enfoque propuesto se utilizaron los datos a partir de 2013 para comparar el consumo eléctrico previsto y real utilizando HDO y HDG. La figura 6 muestra que la predicción del consumo mensual de electricidad con HDO es inexacta y da lugar a diferencias de hasta un 40% con el consumo real.

Por otra parte, el empleo de HDG resultó en un pronóstico más preciso, con diferencias entre 5 y 10% entre el previsto y el valor real para ambos hoteles. Estos resultados validan el IDEn propuesto como una herramienta eficaz para predecir y controlar el consumo de electricidad.

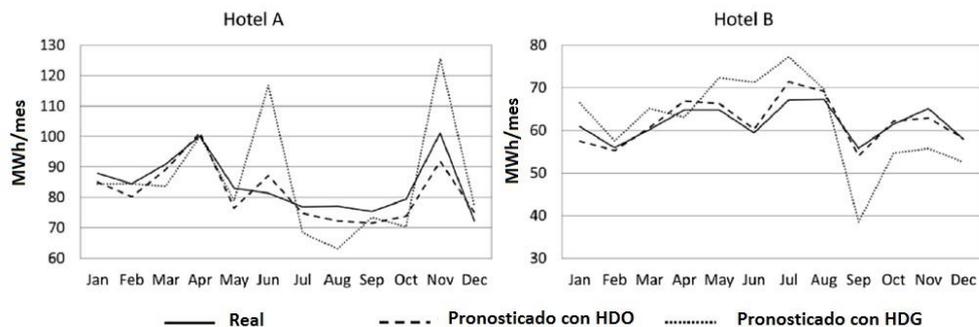


Fig. 6 Consumo eléctrico real y pronosticado utilizando HDO y HDG. Fuente: Elaboración propia.

3.4 Implementación de la herramienta para el control diario del consumo de electricidad

El IDEn propuesto se implementó en los hoteles A y B durante el año 2014. A lo largo de la ejecución se discutieron los resultados diarios obtenidos con el GCD con el personal de mantenimiento y gerencia. A partir de estas reuniones se ejecutaron acciones inmediatas para corregir las ineficiencias en las diferentes instalaciones de los hoteles. Como consecuencia de ello, un software para facilitar el uso del GCD fue comisionado por los establecimientos hoteleros. Los resultados del control diario y la identificación de ineficiencias fueron discutidos mensualmente con el consejo de administración de cada hotel. La Tabla 1 muestra el consumo eléctrico anual para 2013 y 2014 en los hoteles de A y B. La reducción fue del 11 y el 10% respectivamente. Por supuesto, esto implica una reducción significativa de los costos de energía en ambos hoteles, sobre todo debido a la aplicación del GCD, que no requiere ningún tipo de inversión.

Hotel	2013		2014		Ahorros Electricidad
	Consumo (MWh/año)	HDG	Consumo (MWh/año)	HDG	%
A	1008	41781	891	41973	11
B	740	14806	659	14895	10

Tabla 1. Reducción del consumo de electricidad alcanzado. Fuente: Elaboración propia.

Más reducciones serían alcanzables, si el IDEn lograra describir mejor la eficiencia energética de los hoteles. Para mejorar el enfoque actual, es necesario incluir otras variables climáticas, tales como la humedad y la radiación solar y otros factores ocupacionales, por ejemplo, los servicios prestados a los no clientes. Nuevas mejoras en la eficiencia de la electricidad requerirían la mejora de la tecnología, que por lo general implica inversiones importantes.

4. CONCLUSIONES

Este estudio muestra que un paso importante para lograr una mayor eficiencia energética en hoteles es una adecuada selección e implementación de IDEn. Para definir un IDEn efectivo se requiere incluir parámetros físicos como la temperatura exterior y parámetros operativos, como el nivel de ocupación. En los hoteles cubanos, las prácticas actuales hacen que el alto consumo de electricidad y los altos costos de energía, sea debido en parte, a la ausencia de IDEn eficaces.

El IDEn propuesto se basa en los datos actualmente manejados por el personal de la instalación y es bastante fácil de calcular, lo que facilita considerablemente su implantación en los hoteles estudiados. Sobre la base de sus características este IDEn se puede implementar en otros hoteles cubanos (y extranjeros). La implementación de un GCD basado en el IDEn propuesto permite la rápida detección de malas prácticas y el exceso de consumo, seguido por una rápida implementación de acciones correctivas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento al VLIR (Flemish Interuniversity Council) por el apoyo recibido para la realización de esta investigación a través del proyecto “Creación de una red de centros de producciones más limpias en Cuba para fortalecer la formación de capacidades y la investigación en producción más limpia”.

REFERENCIAS

- Cabello, J., Sousa, V., Sagastume, A. et al., 2016. Tools to improve forecasting and control of the electricity consumption in hotels. *Journal of Cleaner Production*, Volume 137, 2016, Pages 803-812, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.192>
- Cabrera, O., Borroto, A., Monteagudo, et al., 2004. Evaluación del indicador kWh/HDO de eficiencia eléctrica en instalaciones hoteleras cubanas. *Retos Turísticos*. 3, 1-8, ISSN 1681-9713. Recuperado de: <http://revistas.mes.edu.cu:9900/eduniv/03-Revistas-Cientificas/Retos-Turísticos/2004/2/41104203.pdf>
- Deng, S., 2003. Energy and water uses and their performance explanatory indicators in hotels in Hong Kong. *Energy and Buildings*. Volume 35, Issue 8, 2003, Pages 775-784, ISSN 0378-7788, [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00238-4](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00238-4)
- Hui, M. y Wong, M.K.F., 2010. Benchmarking the energy performance of hotel buildings in Hong Kong. En: *Liaoning (Dalian) - Hong Kong Joint Symposium*. Dalian, China. Recuperado de: <http://web.hku.hk/~cmhui/Dalian2010-samhui.pdf>
- International Organization for Standardization, 2011. *Energy Management Systems- Requirements with Guidance for Use*. ISO 50001: 2011. Geneva. Switzerland: Edited by ISO. 2011
- International Organization for Standardization, 2012. *Energy Management Systems. Guidance for the Implementation, Maintenance and Improvement of an Energy Management System*. ISO 50004: 2012. Geneva. Switzerland: Edited by ISO. 2012
- International Organization for Standardization, 2014. *Energy Management Systems. Measuring Energy Performance Using Energy Baselines (EnB) and Energy Performance Indicators (EnPI). General Principles and Guidance*. ISO 50006; 2014. Geneva. Switzerland: Edited by ISO. 2014
- Krese, G., Prek, M., Butala, V., 2012. Analysis of building electric energy consumption data using an improved cooling degree day method. *Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering* Volume 58, Issue 2, Pages 107-114, <https://doi.org/10.5545/sv-jme.2011.160>
- Oficina Nacional de Estadísticas e Información (ONEI), 2017. Capítulo 15 Turismo. En: *Anuario Estadístico de Cuba 2016*. Recuperado de: <http://www.onei.cu/aec2016/15%20Turismo.pdf>
- Priyadarshihi, R., Xuchao, W. y Eang, L.S., 2009. A study on energy performance of hotel buildings in Singapore”. *Energy & Buildings*. Volume 41, Issue 12,

- 2009, Pages 1319-1324, ISSN 0378-7788, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.07.028>
- Styles, D., Schönberger, H. y Galvez, J.L., 2013. Best Environmental Management Practice in the Tourism Sector. Publications Office of the European Union, Luxembourg, ISSN 1831-9424 (online), <https://doi.org/10.2788/33972>
- United Nations World Tourism Organization, 2014. UNWTO Tourism Highlights 2014 Edition, Madrid. Recuperado de: <https://www.e-unwto.org/doi/pdf/10.18111/9789284416226>
- Weather Underground. Cienfuegos historical dayli observations. Recuperado de: <http://www.wunderground.com/>
- Williams, A.T., Rangel-Buitrago, N.G., Anfuso, G., et al, 2016. Litter impacts on scenery and tourism on the Colombian north Caribbean coast. *Tourism Management*, Volume 55, 2016, Pages 209-224, ISSN 0261-5177, <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2016.02.008>
- Yang, L., Wan, K., Li, D., et al., 2011. A new method to develop typical weather years in different climates for building energy use studies, *Energy*, Volume 36, Issue 10, 2011, Pages 6121-6129, ISSN 0360-5442, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.07.053>