

Evaluación del ahorro de energía eléctrica y análisis del rendimiento energético de la Facultad de Ingeniería de la UADY del 2008 al 2018

Adrián Livas-García*, Ali Bassam, Mauricio Gamboa Marrufo, E. Ernesto Odóñez López

Fecha de recepción: 30 de octubre de 2018 — Fecha de aceptación: 20 de febrero de 2019

Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán. Av. Industrias No Contaminantes por Periférico Norte S/N. Mérida, Yucatán, México.

Resumen

Las acciones que se llevan a cabo de manera sistemática para reducir el uso de la energía tienen implicaciones positivas sobre el medio ambiente y la economía. En la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán (FIUADY) se han llevado a cabo acciones para reducir el consumo energético, la importancia del ahorro de energía es parte de la visión institucional. Para estimar los ahorros de energía se toman los resultados de una auditoría de energía realizada a las instalaciones de la Facultad, se profundiza en el análisis de las facturas de energía eléctrica y se elaboran indicadores estratégicos del rendimiento energético. Encontramos que en diez años la FIUADY ha ahorrado 936,810 kWh de energía eléctrica y Mx\$1,655,735 con respecto al año 2008, evitando la emisión de 545 tonCO₂eq a la atmósfera; los indicadores de kWhpc y kWh/m² muestran mejores rendimientos que los reportados por otras instituciones de Yucatán, de México e internacionales, además, para los últimos años muestran una tendencia hacia la estabilización. Se presentan algunas observaciones que toman en cuenta que la institución cuenta con mecanismos sistemáticos para la gestión energética.

Palabras clave: Ahorro de energía, indicadores energéticos, auditoría de energía, gestión energética.

Estimating the electricity saving and energy performance analysis of the Autonomous University of Yucatán (UADY) Engineering Faculty from 2008 to 2018

Abstract

The actions which are carried out systematically to reduce the use of energy have positive implications on the environment and the economy. In the Engineering Faculty of the Autonomous University of Yucatan (FIUADY) people in charge have been taken actions to decrease the energy consumption, given that energy savings are included in its institutional vision. To estimate the energy savings, the results of an energy audit were taken, the electricity bills analysis were deepened, and the strategic indicators of energy performance were elaborated for the electric energy consumption of the Faculty. It was found that, in ten years, 936,810 kWh of electric power and Mx\$1,655,735 have been saved within the perimeter of the FIUADY comparing with 2008 electric energy consumption and the emission of 545 tonCO₂eq to the atmosphere has been avoided during this period of time; the indicators of kWhpc y kWh/m² show better performance than those reported by institutions of Yucatan, Mexico and other countries. The analysis carried out showed that, in recent years these performance indicators have a trend towards stabilization. Some comments that take into consideration that the institution has systematic mechanisms for energy management are highlighted.

Keywords: Energy saving, energy indicators, energy audit, energy management.

*adrian.livas@correo.uady.mx

Introducción

El diseño, implementación, evaluación y ajuste de políticas para atender los efectos negativos del cambio climático y la reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) han trascendido todas las estructuras supranacionales, sociales y políticas, que cada vez, se ven más en la acción diaria. El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) establece que probablemente la actividad humana sea una de las causas de mayor peso en el fenómeno del calentamiento global, también asocia, al igual que la Comisión Europea que las emisiones provienen de la combustión de combustibles fósiles y las dinámicas de cambio de uso de suelo (IPCC, 2013; EU, 2018).

En el orden supranacional se tiene el Acuerdo de París (EU, 2018); a nivel nacional la administración que terminó sus funciones en el 2018 implantó la estrategia de cambio climático en la que estableció los compromisos a nivel internacional de México, las acciones y la estrategia (SEMARNAT, 2013), y la nueva administración publicará sus programas en los primeros meses del 2019 al igual que el gobierno de Yucatán; el municipio de Mérida publicó su Plan Municipal de Desarrollo de Mérida 2018-2021, en donde enfatiza las acciones que tomarán en materia de medio ambiente que tiene vínculos con el concepto de desarrollo humano de la ONU (Ayuntamiento de Mérida, 2018); la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY) inicio sus acciones en su Plan de Desarrollo Institucional 2010-2020 con una actualización en el 2014. En ese documento se establecen los programas institucionales prioritarios para alcanzar la visión que definió la institución, primero al 2010 y después al 2022, uno de ellos es el

Programa Prioritario de Gestión del Medio Ambiente (PPGMA), en este documento se define las acciones directas en materia de eficiencia energética que impactan al medio ambiente (UADY, 2018), y el Proyecto Institucional para la Eficiencia Energética (UADY, 2015).

La vinculación del PPGMA con los aspectos de la energía consiste en que, al mejorar la eficiencia energética, la institución contribuye con las acciones para mitigar las emisiones de GEI (UADY, 2018). En la UADY el programa opera bajo el principio de gestión ambiental responsable, entendiendo esto como “...consumir estrictamente lo necesario para generar la mínima cantidad de residuos...” (UADY, 2015). En materia energética la Universidad cuenta con la Coordinación de Eficiencia Energética y Seguridad en el Campus, donde junto con los Comités de Energía y de Energías Renovables elaboran la Agenda Institucional en la que define las acciones programáticas en las diversas entidades que conforman a la Universidad (UADY, 2015). Las principales acciones a nivel UADY que se han llevado a cabo de forma sistemática son: auditorias de energía (AE) o diagnósticos energéticos en las diferentes dependencias de la Universidad, campañas de sensibilización y capacitación para la comunidad universitaria, acciones de mantenimiento, sustitución de equipos antiguos por otros con tecnologías más eficientes (principalmente de aire acondicionado e iluminación), aplicación de envolvente térmica en algunos edificios, y entre otras, se han instalado sistemas automáticos de medición del uso de energía eléctrica en algunas dependencias (UADY, 2015, 2018).

Es importante considerar que las acciones enfocadas a mejorar la eficiencia energética frecuentemente son llamadas estrategias ganar-ganar, porque implican diferentes formas de beneficios, por ejemplo, la reducción del uso de energía implica disminuciones en las emisiones de GEI, en el gasto de la cuenta de electricidad, e incluso, mejora en la imagen institucional.

Cuando de manera sistemática un conjunto de acciones está formalizado dentro de los programas y proyectos instituciones de una organización, que además cuentan con objetivos definidos, y mecanismos de medición y ajuste, se establece que la organización se encuentra en un proceso de mejora continua. Conforme madure el proceso (de gestión) la organización estaría en posibilidades de alinearlos con las certificaciones ISO, para la gestión energética aplica el ISO 50001 (Antunes *et al.*, 2014). De acuerdo con McKane *et.* (2017) y Ahmed *et al.* (2010) la adopción de Sistemas de Gestión Energética (SGE) en edificios puede tener un potencial de ahorro de energía entre el 10% a 40%.

Un SGE es una metodología que busca la mejora continua del desempeño energético de forma económicamente rentable. Para ello se siguen una serie de pasos: evaluar el estado inicial del desempeño energético, se establecen los objetivos y meta, se elabora el plan de acción o agenda, se implementan las acciones del plan de acción, se evalúa el progreso, y se ajustan los objetivos y metas en dirección de la mejora continua (CONUEE, 2016). La herramienta principal del SGE es la Auditoría Energética (AE) porque permite determinar dónde, cuándo y cómo se utiliza la energía; evalúa el desempeño energético de una

organización y emite recomendaciones para mejorar el rendimiento energético (Turner, 2001).

Con la AE es posible determinar los servicios energéticos que utiliza una organización y estimar su desempeño, ya sea de instalación, en un equipo, en proceso, etc. Para evaluar la evolución del desempeño es necesario definir indicadores, estos tienen dos grandes clasificaciones: estratégicos y operacionales. Los primeros ofrecen información para la toma de decisiones en una organización desde una visión macro, por ejemplo, la energía total utilizada por: volumen (o valor) total de la producción, cantidad total de clientes atendidos, número de empleados, metros cuadrados construidos, etc. Los indicadores operacionales se enfocan en valorar el rendimiento energético de procesos específicos, maquinaria u operarios, por ejemplo, energía utilizada: por metro cúbico climatizado, número de tazas de café por hora, operarios de la línea de proceso “A” por unidad de producto, etc.

Un indicador energético-estratégico para valorar el desempeño de edificios es la cantidad de total de energía utilizada por los metros cuadrados construidos. Existe un rango amplio de valores reportados. Se estima que para los edificios comerciales “grandes” en China el valor de este indicador se encuentra entre 200-400 kWh/m²-año y que es de 4-8 veces mayor que en los edificios públicos “ordinarios”. También se calcula que la climatización en edificios representa el 50% de la carga eléctrica (Li & Li, 2018).

En Malasia, los edificios de oficinas reportan valores entre 200-250 kWh/m²-año [Chan, (2009) en (Ainurzaman *et al.*, 2013). Mientras que el valor cambia a 24 kWh/m²-año en

residencias de estudiantes sin climatización, aunque pueden llegar hasta los 125 kWh/m²-año al incluir la climatización (Ainurzaman *et al.*, 2013). Para universidades de Taiwan han reportado valores de 79 kWh/m²-año y de 1,855 kWhpc (Chun, 2016). En edificios educativos de Portugal estimaron 32.05 kWh/m²-año y de 412.16 kWhpc (Bernardo H. *et al.*, 2017).

Para México, en un programa aplicado a más de 1,000 Edificios de la Administración Pública Federal, la CONUEE (2014) reportó que se promediaron 66 kWh/m²-año. Aunque el rango del indicador para este tipo de edificios se sitúa entre 49-129 kWh/m²-año.

De acuerdo con la SENER (2014) en Mérida, Yucatán, los edificios municipales registraron en promedio 54.7 kWh/m²-año y un gasto en la cuenta de electricidad de 195 \$/m²-año. Para los mismos edificios calcularon las horas promedio por día por servicio energético, lo reportado fue: 10 hrs/día-Iluminación, 11 hrs/día-Climatización, 24 hrs/día-Refrigeración y 10 hrs/día-Cómputo.

La investigación se concentra en cuantificar el ahorro de energía eléctrica de la FIUADY entre los años 2008 y 2018, considerando que las disminuciones en el uso de la electricidad se deben en gran medida a la coordinación del Programa Prioritario de Gestión del Medio Ambiente, al Proyecto Institucional para la Eficiencia Energética y a las acciones implementadas en la Facultad.

Para ello se define y analiza la estructura del consumo de electricidad, partiendo de categorías de servicios energéticos; se define un conjunto de indicadores energético-estratégicos y se compara con lo reportado en la literatura nacional e internacional. Se

analizan la evolución del uso de la energía eléctrica, detectando sus patrones y tendencias, así como, los precios de la tarifa eléctrica contratada por la Facultad. Y se presentan observaciones de los resultados.

Metodología

La investigación determina el perfil energético de la FIUADY, para ello se utiliza la metodología de las AE. Se analizan la evolución de las facturas de energía, y se definen los indicadores energético-estratégicos: cantidad de energía utilizada y su gasto respectivo entre la población total y los metros cuadrados de construcción, y el “Ahorro acumulativo” en energía eléctrica y en gasto de su cuenta.

Descripción y utilidad de la auditoría energética

Los pasos para llevar a cabo una AE son: preparación de la auditoría, donde incluye analizar el sector que se va a auditar; implementación, independientemente del nivel de la AE es necesario contar con un inventario de servicios energéticos y los equipos que los ofrecen, analizar el estado de su rendimiento energético e identificar las oportunidades de ahorro de energía; reportar la AE a la organización, explicando las oportunidades de ahorro de energía con sus respectivos indicadores económicos y ayudar a la organización a tomar decisiones para la implementación de las medidas decididas de ahorro; y después de la AE es necesario dar seguimiento de impacto de las medidas por medio de un sistema de indicadores. Los detalles de las fases de las AE se muestran en la Tabla 1.

Es importante señalar que las AE son el instrumento que se utiliza para evaluar el rendimiento energético de una organización, y ofrece información para la construcción de diversos indicadores. Cabe mencionar que la práctica sistemática de las AE es uno de los pasos para formalizar un sistema de gestión energética.

Tabla 1. Fases del Proceso de las Auditorías de Energía

Preparación	Definir el nivel de la auditoría
	Planear la auditoría
	Recopilar datos de tarifas energéticas
	Análisis preliminar del sector de actividad de la organización
Ejecución	Inventario de equipos y mediciones del rendimiento energético
	Analizar los patrones de consumo energético
	Diagnóstico de los sistemas energéticos de la organización
	Identificar las oportunidades de ahorro de energía
	Evaluación de la rentabilidad económica de las medidas de ahorro de energía
Reporte	Redactar el reporte de la auditoría
	Exponer al cliente los resultados de la auditoría
	Priorizar con la organización las medidas de ahorro de energía
	Asesorar a la organización en la toma de decisiones
Post-auditoría	Implementar las medidas de ahorro de energía
	Revisión y actualización del rendimiento energético
	Mantener las mediciones de los indicadores (estratégicos y operacionales)

Fuente. - Extraído y modificado de Alluhi (2018).

De acuerdo con Turner (2001), Alajmi (2011), y entre otros, Allouhi *et al.* (2018), los procedimientos de las AE de la ASHRAE se engloban en tres niveles que dependen de las necesidades de los usuarios, estas pueden ser:

el tiempo establecido para una auditoría, el presupuesto, la complejidad del edificio y/o de las instalaciones, y otras. En las AE el nivel 1 corresponde a punto de partida de los procesos de conservación de energía, el objetivo es determinar la naturaleza del sistema energético, se realiza un análisis preliminar del sitio para detectar las oportunidades de ahorro energético “simples o evidentes” que sean económicamente rentables, para ello se realiza una inspección visual en un recorrido a través de las instalaciones, también se realiza un análisis de las facturas de energía (a modo de comprobación). En nivel 2 se parte de los hallazgos de la AE de nivel 1, pero se profundiza en el análisis de los sistemas energéticos y en la estructura energética de la organización, ello implica las siguientes actividades: contabilidad energética (principalmente el inventario de servicios energéticos y de los equipos que los ofrecen), encuestas sobre los patrones de uso de los equipos, se profundiza en el análisis de las facturas de energía, tanto en las variaciones estacionales, como en la definición de indicadores de rendimiento energético, esto es porque no es tan evidente el impacto que las medidas de conservación de la energía puedan tener sobre la eficiencia energética de la organización. Las AE de nivel 3 por lo general toman en cuenta las actualizaciones que se obtienen de la AE de nivel 2, que requieren de mayor detalle analítico y las modificaciones que son intensivas en capital, para ello se adicionan simulaciones y modelados de los sistemas energéticos a modificar con el fin de demostrar que se puedan garantizar los ahorros (en energía y en dinero). Para los propósitos de esta investigación se utilizaron los resultados de AE realizadas a las instalaciones de la FIUADY en los niveles 1 y 2. Cabe mencionar que la auditoría se llevo a cabo con el grupo de

Temas Selectos en Gestión y Eficiencia Energética I del periodo 2018 (agosto-diciembre) impartido en la carrera de Ingeniería en Energía Renovables de la FIUADY.

Cuantificación del ahorro de energía

Para cuantificar la disminución o el incremento en el uso de la energía es necesario comparar el consumo energético de un año dado con respecto al año base, en este estudio se toma al 2008.

$$\Delta E_t = E_t - E_{2008}$$

Se define a la reducción del uso de la energía cuando la diferencia entre el año base y el siguiente año es menor a cero, contrario a los incrementos de energía que se identifican cuando dicha diferencia es mayor a cero. Para analizar la evolución y el comportamiento de las reducciones y los incrementos de energía (*RE* e *IE*, respectivamente), de manera acumulativa durante el periodo de estudio, se toma el siguiente criterio:

$$\text{Criterio} = \begin{cases} RE = \sum_t^n \Delta E_t \Leftrightarrow \Delta E_t < 0 \\ IE = \sum_t^n \Delta E_t \Leftrightarrow \Delta E_t > 0 \end{cases}$$

Con la diferencia entre las reducciones y los incrementos de energía para cada año, se obtiene el balance de la energía ahorrada neta con respecto al año base: $EAN_t = RE_t - IE_t$. Si el $EAN = \sum_t^n EAN_t$ obtiene valores menores a cero, se considera que las acciones realizadas en el sistema de análisis están funcionando para colocarlo en una senda de ahorro de energía, entendida esta como el resultado de mantener sistemáticamente una política de ahorro energético. En el caso contrario, si el indicador

EAN obtiene valores positivos, es una evidencia de que la organización no ha logrado mantenerse en un proceso continuo de ahorro de energía, por lo tanto, la organización tiene que revisar sus procedimientos e indicadores.

Descripción de los indicadores energético-estratégicos

El propósito de los indicadores energético-estratégicos es ofrecer una visión general del rendimiento energético de una organización y comprobar si está dentro de los valores que otras organizaciones han reportado, con el objetivo de implementar medidas de acción desde las áreas de toma de decisión.

Los indicadores que se analizan para la FIUADY durante el periodo 2008 al 2018, de forma anualizada son: el consumo eléctrico per cápita de la FIUADY (kWhpc-año); los precios medios de la energía eléctrica que se han pagado (\$/kWh-año); la cantidad de energía eléctrica total entre la superficie construida, del mismo modo con la cantidad del pago de facturas eléctricas (kWh/m²-año y \$/m²-año).

Se espera que la evolución de estos indicadores en el periodo de tiempo analizado sea de disminución y hacia los últimos años presenten una tendencia asintótica. Esto se interpreta como una evidencia de que la organización está estabilizando el uso de la energía, y además, que lo está desacoplando de sus actividades productivas.

Discusión de resultados

El análisis del impacto de la implementación acciones sistemáticas para el ahorro de energía, en la Facultad de Ingeniería de la UADY se gestionan desde la Coordinación de Eficiencia Energética y Seguridad en el Campus, junto

con los comités de energía y de energías renovables, y se tienen los lineamientos y objetivos en el Programa Prioritario de Gestión Ambiental y el Proyecto Institucional de Eficiencia Energética.

Descripción de la Facultad de Ingeniería de la UADY

La Facultad se encuentra ubicada al norte de Mérida, Yucatán, tiene una orientación con respecto a su entrada de Este-Oeste. Durante el periodo de estudio, 2008 a 2018, la Facultad tiene una superficie construida constante de aproximadamente de 15,000 m². Su población total ha estado en crecimiento, de 1,050 en el 2008 a 1,420 en el 2018 (Figura 1). Las principales actividades que se desarrollan son: docencia, investigación, administración, y mantenimiento. Tales actividades se realizan, en su mayoría, en un horario entre las 7 de la mañana y las 8 de la noche. Y la energía eléctrica es la principal forma de energía que se utiliza.

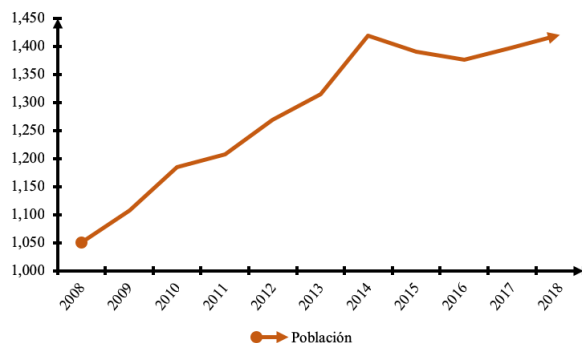


Figura 1. Evolución de la Población Total de la FIUADY.

Fuente. – Elaboración de los autores.

Estructura del uso de la energía eléctrica de la FIUADY

Los servicios energéticos que se obtuvieron de la AE son las siguientes categorías:

Climatización, se consideraron los equipos de aire acondicionado principalmente de la tecnología “mini-split” con diversas capacidades del tipo estándar e “inverter”; Comunicación, se incluyeron computadoras, laptops, módems, fax, impresoras, etc.; Refrigeración, se contabilizaron sistemas de refrigeración, refrigeradores, congeladores, etc.; Iluminación, se contabilizaron todo tipo de lámparas, reflectores, y focos; Calor, se incluyeron equipos como estufas, hornos, cafeteras, microondas, tostadores; Ventilación, se contabilizaron todo tipo de ventiladores y extractores; Equipo especializado, se incluyeron todo tipo de equipos de laboratorio que utilizan electricidad; y Bombeo, se contaron las bombas de agua.

La información de la demanda de cada equipo (kW) se extrajo de los datos de placa de cada equipo que conforman a cada una de las categorías. Y las horas de uso, se obtuvieron de entrevistas con las personas que interactúan con los equipos. De ese modo, la estructura del uso de energía eléctrica en la Facultad es de 63.6% para climatización, 12.5% en comunicaciones, y entre otros, 10.7% para refrigeración, ver la Figura 2.

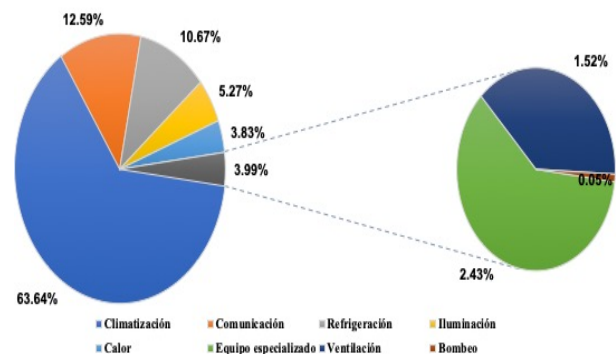


Figura 2. Porcentaje de consumo de energía eléctrica por servicio energético.

Fuente. – Extraído de “Reporte Final” del Curso de Temas selectos de Gestión y Eficiencia Energética de la FIUADY (2018)

De acuerdo con los resultados de la AE, la información recopilada de las entrevistas y los datos de placas de los equipos; la distribución del consumo de electricidad por edificios de la Facultad y de los servicios energéticos, los cuatro edificios más energo-intensivos fueron: V (197,820 kWh-año), R (128,943 kWh-año), K (85,862 kWh-año) y A (73,916 kWh-año). En el gráfico de la Figura 3, se observa que la climatización impacta principalmente en los edificios V, K y R; las comunicaciones a los

edificios A, V y R; y la refrigeración a los edificios R, P y CAF.

Las encuestas realizadas indican que las horas de uso al día de los equipos que ofrecen los principales servicios energéticos son: 7 hrs/día de climatización, 6 hrs/día de comunicaciones, 7 hrs/día de iluminación y 24 hrs/día de refrigeración; estos últimos se encuentran por debajo de los valores presentados para los edificios públicos en la ciudad de Mérida, Yucatán.

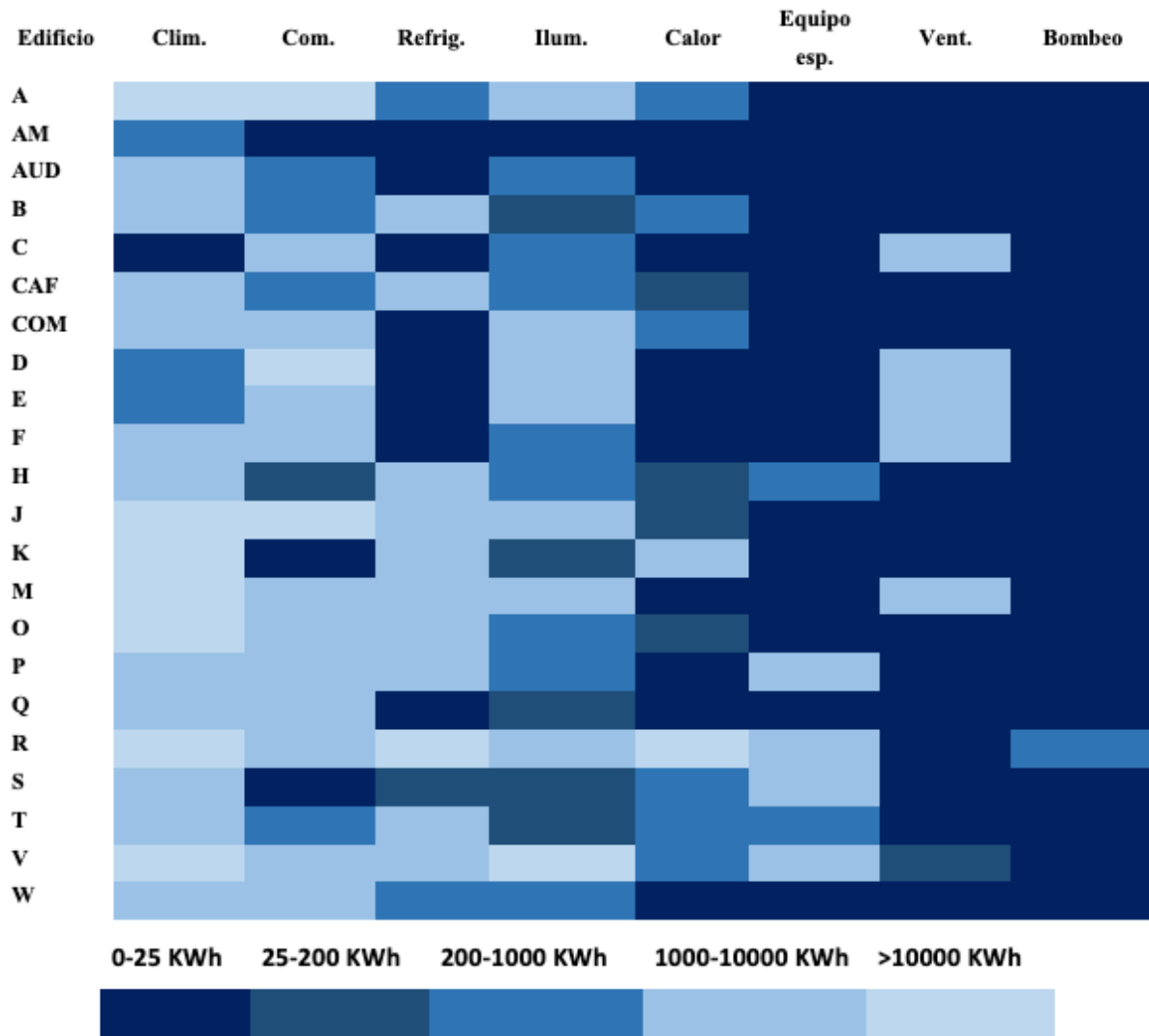


Figura 3. Distribución del uso de energía eléctrica por edificio y servicio energético.

Fuente. – Extraído del “Reporte Final” del curso de Temas selectos de Gestión y Eficiencia Energética de la FIUADY (2018)

Evolución del uso de la energía eléctrica en la Facultad

El comportamiento histórico del uso de energía eléctrica de la FIUADY ha tenido, en general, una tendencia descendente en el periodo de estudio. A partir del año 2009 se observan incrementos en el uso de la electricidad con una periodicidad de tres años. A partir del último pico (año 2015), se tiene una tendencia hacia un comportamiento asintótico localizado en los 600,000 kWh (Figura 4).

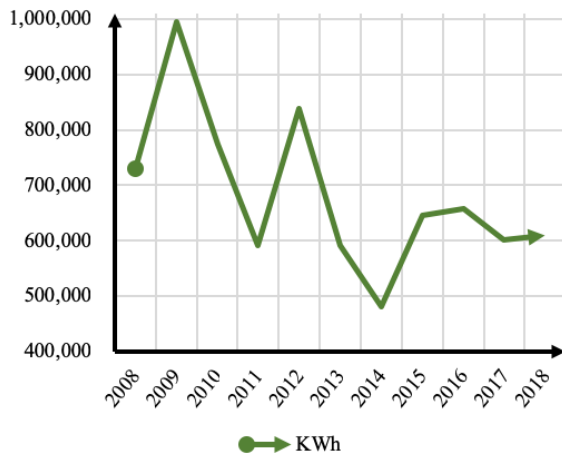


Figura 4. Evolución del uso de la energía eléctrica en la FIUADY.

Fuente. – Elaboración de los autores.

El gasto en las facturas de electricidad tuvo una tendencia descendente del 2008 al 2011. Después en el año 2012 el gasto se incrementó 45% con respecto al 2011. Después, del 2012 al 2014 el gasto descendió 43%, incluso el decremento fue 31% menos que en el 2008. Sin embargo, del 2014 al 2018, el gasto se incrementó 93% (Figura 5).

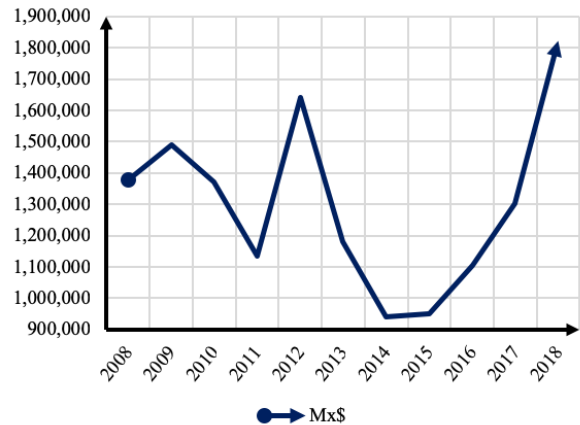


Figura 5. Evolución del gasto en las facturas de electricidad de la FIUADY.

Fuente. – Elaboración de los autores.

Evolución de los indicadores energético-estratégicos

Recordando que el comportamiento ideal de los indicadores energético-estratégico es que disminuyan su magnitud con el tiempo, y que en algún momento se estabilice su valor. Por ejemplo, en el uso de energía eléctrica per cápita (kWhpc), se espera que, aunque la población aumente, el valor del indicador no lo haga, ello significaría que las actividades realizadas en la institución educativa se estarían desacoplando del uso de energía. Este comportamiento se observa en la FIUADY, en el año 2008 el indicador registró 695 kWhpc, y en el 2018 bajó a 429 kWh (Figura 6). Y del 2015 al 2018 se observa la tendencia hacia el comportamiento de estabilización, además, se observa que el desarrollo de los kWhpc en el periodo de estudio sigue la misma forma que los kWh (Figura 6, a).

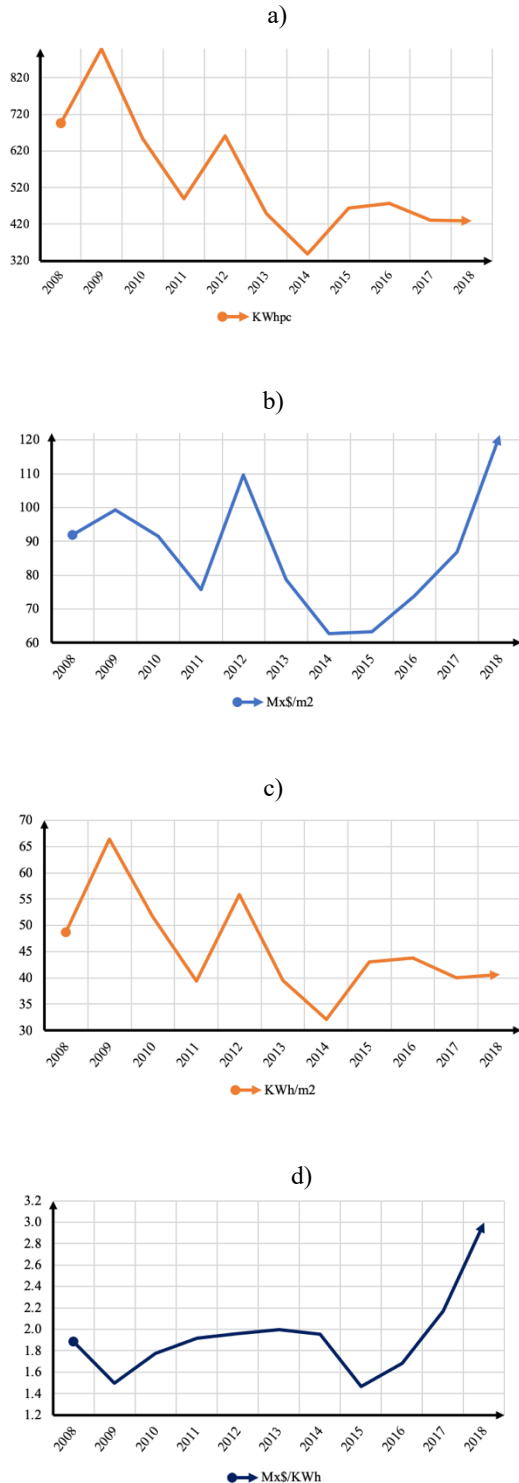


Figura 6. Evolución del indicador kWhpc a), Mx\$/m² b), kWh/m² c), Mx\$/kWh d) de la FIUADY.

Fuente. – Elaboración de los autores.

En el indicador Mx\$/m² el factor de los metros cuadrados de construcción es constante, por lo que comportamiento es idéntico al del gasto en las facturas de electricidad (Figura 5). Un aspecto relevante de la evolución de los Mx\$/m² durante el periodo de estudio (Figura 6, b), es que los valores se localizan por debajo de lo reportado por los edificios públicos de oficinas del municipio de Mérida, 195 Mx\$/m². Sin embargo, la tendencia de incremento acelerado que presenta de 2015 al 2018, alertan que el indicador tiene la posibilidad de sobrepasar los niveles reportados en otros edificios.

En cuanto al valor de los kWh/m², a partir del 2010 se ubicó por debajo de lo reportado en otros edificios de Mérida (54.7 kWh/m²), incluso a partir del 2015 el valor del indicador presenta una tendencia hacia la estabilización entre los 40 y 45 kWh/m² (Figura 6, c).

Los precios medios de la energía se entienden como el cociente entre el gasto total de la factura eléctrica y el uso de la energía eléctrica (Mx\$/kWh). Durante el periodo de estudio se observa que los precios medios que la FIUADY ha pagado tenían una tendencia, hasta el 2015, a ubicarse entre 1.8 y 2.0 Mx\$/kWh, aunque en los años 2009 y 2015 hayan estado por debajo. Del 2015 en adelante los precios medios aumentaron de 1.5 a 3.0 Mx\$/kWh (Figura 6, d).

Los resultados de los indicadores muestran que el uso de la energía eléctrica se encuentra en un camino de estabilización, mientras que el pago de esa energía requiere de atención y del diseño de una estrategia para colocarlo en la tendencia de reducción y después de estabilización.

Cuantificación del ahorro de energía y del gasto de sus facturas de electricidad

Con la información del uso de energía eléctrica de la FIUADY del 2008 al 2018 se estimaron los indicadores de ahorro, *AEN* [kWh] y *AEN* [Mx\$].

Los incrementos en la energía eléctrica con respecto al año 2008 se estabilizaron a partir del año 2011, en ese mismo año las reducciones en el uso de energía eléctrica comenzaron una tendencia de reducción continua. Entre los años 2008 y 2013, el balance entre las reducciones y los incrementos de energía eléctrica iniciaron con un comportamiento ascendente, después la tendencia se invirtió e inició una senda de ahorros de energía eléctrica continuos (Figura 7).

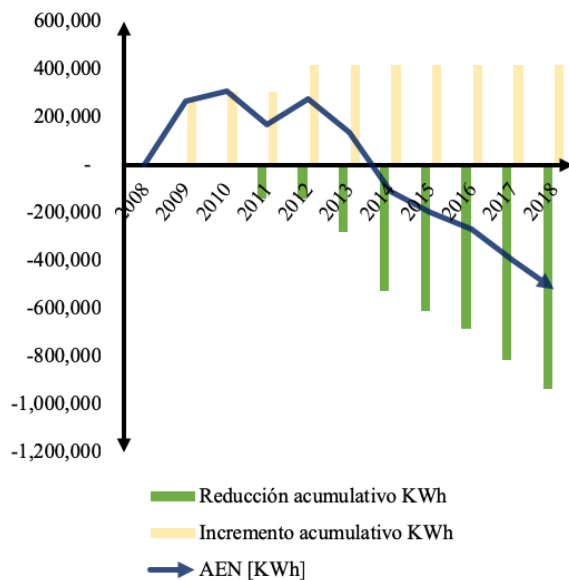


Figura 7. Ahorro Acumulativo de energía eléctrica.

Fuente. – Elaboración de los autores.

Con respecto al año de referencia y durante el periodo 2008-2018, en la FIUADY se evitaron 936,810 kWh de energía eléctrica y se utilizaron 416,150 kWh de electricidad por

encima del año base, con ello se obtienen 520,660 kWh de ahorro neto en electricidad. Las acciones y medidas que se tomaron durante ese periodo producen un beneficio de 2.25 veces mayor a los incrementos que se tuvieron en algunos años.

Los incrementos en el gasto de electricidad para los primeros 4 años fueron cercanos a los niveles del 2008, después del año 2012 al 2017 tuvieron un aumento del 20% con respecto al 2008 y en el 2018 se tiene otro incremento equivalente al 32%. Por otro lado, las reducciones en el gasto de electricidad iniciaron en el año 2012, que continuaron reduciendo hasta el 2016, donde se detuvieron. El balance entre las reducciones y los incrementos en el gasto por las facturas de electricidad, el indicador *AEN* [Mx\$], muestra que en el año 2011 fue el primero en registrar un ahorro monetario, después del año 2013 al 2018 se han obtenido ahorros continuos (Figura 8), aunque en el último año se haya invertido la tendencia de ahorros continuos.

El gasto en el pago de las facturas de energía eléctrica, las acciones que se llevaron a cabo en la FIUADY evitaron gastar Mx\$1,655,735 y los pagos realizados por encima del año base sumaron Mx\$823,903, generando así, un ahorro neto de Mx\$831,832. Con estos valores se generó un beneficio de 2.01 veces mayor a los pagos que se realizaron por encima del año de referencia.

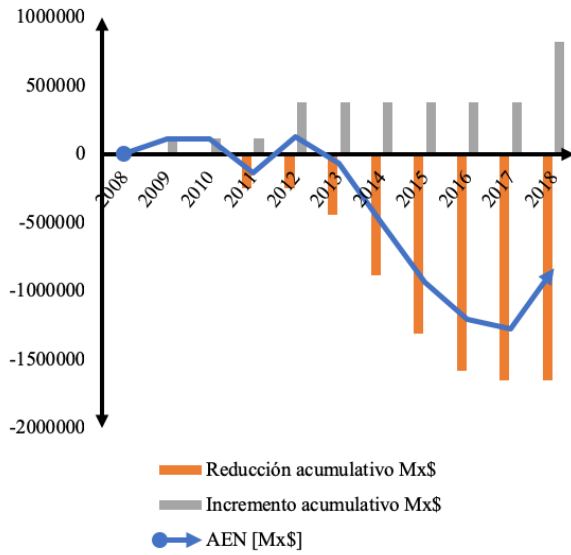


Figura 8. Ahorro Acumulativo del gasto en facturas de electricidad.

Fuente. – Elaboración de los autores.

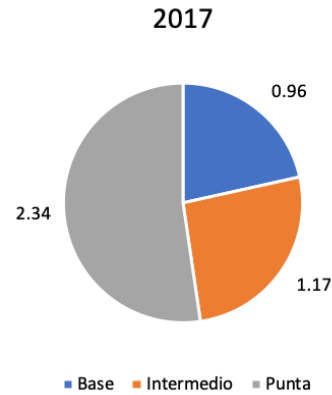
Patrones y tendencias del uso de energía eléctrica en la Facultad

Si bien, se ha reducido la cantidad de energía eléctrica utilizada, el gasto de sus facturas ha aumentado.

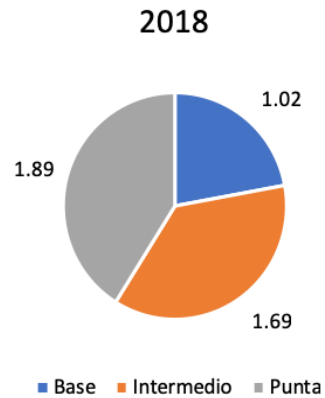
Existe una amplia literatura especializada que analiza el efecto de los costos de la energía en las diversas actividades productivas, las conclusiones indican que los precios de la energía se pueden considerar como un mecanismo de ajuste para los patrones de consumo, es decir, si los precios de la energía aumentan el consumo disminuye y viceversa si los precios disminuyen (Bhattacharyya, 2011).

La Facultad opera con una tarifa horaria de media tensión, esto significa que el costo de la energía eléctrica está en función de la hora en la que se utilice la energía, de lunes a viernes los horarios son: base de 00:00-6:00 hrs; intermedio de 6:00-20:00 y de 22:00-24:00 hrs; y punta de 20:00-22:00 hrs.

Cabe destacar que el sistema tarifario de la compañía suministradora cambió la estructura de la tarifa. En la tarifa que contrato la Facultad, se redujeron los precios de las franjas horarias de intermedio y punta, y aumento en el horario base.



Base Intermedio Punta



Base Intermedio Punta

Figura 9. Precio promedio horario de la tarifa contratada por la FIUADY (Mx\$/kWh).

Fuente. – Elaboración de los autores.

El ajuste de los precios de la tarifa no favoreció a la Facultad porque la mayoría de las actividades que realiza se localizan en el horario intermedio que, aunque los kWh consumidos disminuyeron en el 2018, en el horario punta aumentaron de manera

importante, y en menor medida también se incrementaron en el horario base (Figura 9 y Figura 10).

Los cambios en los patrones de uso de la energía eléctrica en el año 2018, la cantidad de kWh que se utilizaron en los horarios intermedio (6:00 a 20:00 hrs) y base (0:00-6:00 hrs) disminuyeron, y aumentaron los kWh en el horario punta (20:00-22:00 hrs) (Figura 10).

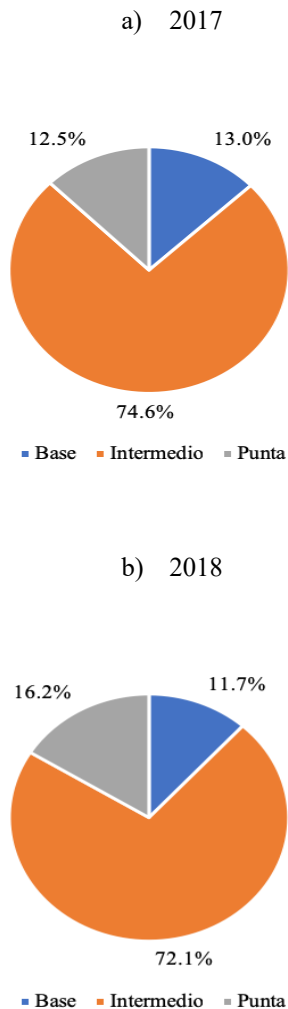


Figura 10. Porcentaje del uso de electricidad por franja horaria en la FIUADY.

Fuente. – Elaboración de los autores.

La combinación de la reestructuración de la tarifa contratada por la Facultad más el aumento de los kWh utilizados en el horario Punta, tuvieron un efecto negativo en el pago de los recibos de electricidad, que, con respecto al 2008 aumentaron 32.4%, aunque en la cantidad de kWh hayan disminuido en 16.67%.

Conclusiones

Los ahorros netos de energía eléctrica que ha generado la FIUADY entre los años 2008 y 2018, tomando al primer año como referencia, fueron 520,660 kWh que representan Mx\$831,832 y tomando el factor de emisión del sector eléctrico reportado por la Comisión Reguladora de Energía para el año 2018, de 0.582 tonCO₂eq/MWh (CRE, 2018), esa cantidad de energía eléctrica equivale a evitar 303 tonCO₂eq. En la forma de la curva de los ahorros en electricidad (Figura 7) se observa que existe un comportamiento persistente para mantener a la Facultad en una senda de ahorro de energía.

Esto se interpreta como una reacción positiva entre la Facultad y la visión Institucional de la UADY en materia energética, donde las vinculación con el Programa Prioritario de Gestión del Medio Ambiente y el Proyecto Institucional para la Eficiencia Energética, han logrado implementar Auditorías de Energía, conformar los comités de energía y energías renovables, vincular las acciones con el personal de mantenimiento, así como de sus capacitaciones, y entre otras, las inversiones para la sustitución de diversos equipos (principalmente para climatización e iluminación); donde esas acciones en su conjunto han logrado ahorros continuos.

Los indicadores energético-estratégicos que relacionan el uso de la energía eléctrica con la población, los metros cuadrados construido, e incluso el pago de las facturas, obtuvieron valores por debajo de los reportados para edificios de oficinas de Mérida y aún más de los edificios de oficinas de países como China y Malasia; además, para los últimos cuatro años se presentan una tendencia hacia la estabilidad en el uso de la energía eléctrica. En cuanto a los valores de los indicadores que relacionan el gasto de las facturas de electricidad con la población, los metros cuadrados construido y los kWh utilizados, muestran que el aumento de los precios de la tarifa contratada, principalmente en el horario intermedio tienen un impacto representativo negativo en la FIUADY, al igual que el aumento de kWh en el horario Punta.

Tomando en consideración que la mayoría de las actividades de la Facultad se realizan durante todo el horario intermedio, es recomendable que los trabajos de gestión energética estén enfocados a evitar que siga aumentando la migración de kWh al horario punta, en mantener y reducir la energía que se utiliza durante el horario intermedio. Para lograrlo es importante visibilizar los costos energéticos y monetarios para cada edificio y actividad que se realiza en la Facultad, y sobre todo, para mantener la senda de ahorro energético, es importante continuar con los programas y proyectos en energía que son institucionales y que pueden estar coordinados con las especificidades de la Facultad.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Programa para el Desarrollo Profesional Docente (PRODEP) No. 511-6/18-7798, a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán, así como a la Coordinación de Eficiencia Energética y Seguridad en el Campus de la UADY por las facilidades de información para realizar la investigación.

Referencias

- [1] Adi Ainurzaman Jamaludin, Noor Zalina Mahmood, Nila Keumala, Ati Rosemary Mohd Ariffin, Hazreena Hussein. (2013). Energy audit and prospective energy conservation: Studies at residential college buildings in a tropical region. *Facilities*, Vol. 31 Issue: 3/4, 158-173, <https://doi.org/10.1108/02632771311299430>.
- [2] Ahmed, A., Ploennigs, J., Menzel, K., & Cahill, B. (2010). Multi-dimensional building performance data management for continuous commissioning. *Advanced Engineering Informatics*, 24, 466–475. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2010.06.007>.
- [3] Alonzo, José L., Canto, Mauricio M., Castillo, Angélica N., Dufau, Alejandro, Fajardo, Juan P., García, Mauricio A., Gómez, José L., Izquierdo, Dayana, Lara, Oziel A., Méndez, Luis G., Montalvo, Marcos A., Rodríguez, Iván A., Sánchez, José R., Silveira, David M., Uc, Alejandro D., Villa, Michael A. (2018). Auditoría de Energía a la FIUADY, nivel 1 y 2. Reporte Final. *Curso Temas Selectos de Gestión y Eficiencia Energética, FIUADY*, agosto-diciembre. Mérida, Yucatán, México.
- [4] Allouhi, A., Bohard, A., Saidur, R., Kousksou, T., & Jamil, A. (2018). 5.1 Energy Audit. In I. Dincer, Comprehensive Energy Systems (pp. 1-44). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809597-3.00503-4>.
- [5] Antunes, P., Carreira, P., & Mira da Silva, M. (2014). Towards an energy management maturity model. *Energy Policy*. 73, 803-814. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2014.06.011>.
- [6] Ayuntamiento de Mérida. (2018). Plan Municipal de Desarrollo 2018-2021. Mérida, Yucatán.
- [7] Bernardoa H., Henggeler C., Gasparb A., Dias L., Gameiro da Silva, M. (2017). An approach for energy performance and indoor climate assessment in a Portuguese school building. *Sustainable Cities and Society*. 30, 184–194. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2016.12.014>.
- [8] Bhattacharyya, S. (2011). Energy Demand Management. In *Energy Economics* (pp. 135-159). New York: Springer London.
- [9] Comisión Europea. (2018, noviembre). Comisión Europea. Revisado en Cambio Climático: https://ec.europa.eu/clima/change/causes_es

- [10] CONUEE / GIZ. (2016). Manual para la implementación de un sistema de gestión energética. Ciudad de México.
[Documento extraído de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/119159/Manual_SGen_Conuee_2da_Edicion.compressed.pdf.
- [11] CRE. (2018, noviembre). Factor de Emisión del Sector Eléctrico Nacional: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/304573/Factor_de_Emisi_n_del_Sector_Elctrico_Nacional_1.pdf.
- [12] IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
[Documento extraído de http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_ALL_FINAL.pdf].
- [13] Jen Chun Wang. (2016). A study on the energy performance of school buildings in Taiwan. *Energy & Buildings*. 133, 810–822. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.10.036>.
- [14] Li, H., & Li, X. (2018). Benchmarking energy performance for cooling in large commercial buildings. *Energy & Buildings*. 176, 179-193. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.07.039>.
- [15] McKane, A., Therkelsen, P., Scodel, A., Rao, P., Aghajanzadeh, A., Hirzel, S., Zhang, R., Prem, R., Fossa, A., Lazarevska, A.M., Matteini, M., Schreck, B., Allard, F., Villegas, N., Steyn, K., Hürdoğan, E., Björkman, T., O'Sullivan, J. (2017). Predicting the quantifiable impacts of ISO 50001 on climate change mitigation. *Energy Policy*. 107, 278–288. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.04.049>.
- [16] SEMARNAT. (2013). Estrategia Nacional de Cambio Climático Visión 10-20-40. México.
[Documento extraído de http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/informacionambiental/Documents/06_otras/ENCC.pdf].
- [17] SENER. (2016). Evaluación Rápida del Uso de la Energía. Capítulo “Mérida, Yucatán”. Mérida, Yucatán.
- [18] Turner, W. C. (2001). Energy Management Handbook. (T. F. Press, Ed.) USA.
- [19] UADY. (2010). Informe de resultados de la Tercera Agenda Estratégica. Acción 8. Programa Institucional del PDI, "Gestión del Medio Ambiente". Mérida, Yucatán.
[Documento extraído de <http://www.pdi.uady.mx/pdi.php>].

- [20] UADY. (2014). Plan de Desarrollo Institucional 2014-2022. Mérida, Yucatán.
[Documento extraído de <http://www.pdi.uady.mx/pdi.php>].
- [21] UADY. (2018, noviembre 10). Programa Institucional Prioritario. Extraído de Gestión del Medio Ambiente: <http://www.ambiental.uady.mx/index.html>.
- [22] UADY. (2018). Tercer Informe de la Gestión 2015-2018. Mérida, Yucatán.
[Documento extraído de <http://www.uady.mx/noticia/visita-tercer-informe-de-la-gestion-2015-2018>].